ISSN: 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

ГИДРОСФЕРА
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ



www.hydro-sphere.ru

Том 1 Выпуск 3



ГИДРОСФЕРА.
ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Том 1, Выпуск 2

Выходит 4 раза в год

ISSN 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

Учредители журнала

Научно-исследовательский центр «Геодинамика»
Научно-производственное объединение «Гидротехпроект»
Институт водных проблем Российской академии наук

HYDROSPHERE.
HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA
(GIDROSFERA.
OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)

Volume 1, Issue 2

Issued 4 times per year

ISSN 2686-7877 (print)
2686-8385 (online)

Founders

Research Center «Geodynamics»
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»
Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences

Технический редактор

Информацию о принятых в печать материалах можно получить на сайте журнала или у технического редактора **Кадацкой Марии Михайловны**, e-mail info@hydro-sphere.ru.
Сведения о вышедших номерах и условиях подписки на сайте журнала: www.hydro-sphere.ru.
Свидетельство о регистрации СМИ **ПИ № ФС 77-76914** от 11.10.2019

ИЗДАТЕЛЬСТВО:
ООО НПО «Гидротехпроект»

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Санкт-Петербург, 14-я линия В.О.
д. 97 пом. 3н.

Для почтовых отправлений: 199155 Санкт-Петербург, а/я 136, Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»

Тел. +7(812)313-83-48,
e-mail: info@hydro-sphere.ru

Technical editor

Information on materials accepted for publication can be obtained on the journal's website or by e-mail info@hydro-sphere.ru of technical editor **Mariya Kadatskaya**.

Information about the issues and subscription conditions on the journal website: www.hydro-sphere.ru.
Certificate of registration as the media **ПИ No ФС 77-76914** from 11.10.2019

PUBLISHING:
Scientific Production Association «Gidrotechproekt»

EDITORIAL ADDRESS:

St. Petersburg, 14th line of Vasilyevsky Island, 97 of. 3n.

For mail: 199155 St. Petersburg, PO Box 136 Editorial Board of the «Hydrosphere. Hazardous processes and phenomena»

Tel. +7(812)313-83-48,
e-mail: info@hydro-sphere.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ В ГИДРОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

HAZARDOUS PROCESSES AND PHENOMENA IN THE HYDROSPHERE OF THE EARTH

УДК 556.5: 551.583

DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.001

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕТНИХ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА РЕКЕ ЧИТА (ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Е.В. Носкова[1], Н.В. Рахманова[1]
И.Л. Вахнина[1,2]

[1]ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия;
[2]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

elena-noskova-2011@mail.ru

FORMATION OF SUMMER RAIN FLOODS ON THE CHITA RIVER (TRANSBAIKALIA)

Elena V. Noskova[1], Natalya V. Rakhmanova[1],
Irina L. Vakhnina[1,2]

[1]Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia
[2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

elena-noskova-2011@mail.ru

Аннотация. Наводнения, вызываемые дождевыми паводками, в паводкоопасных регионах, к которым относится и Забайкальский край, приводят к значительным социально-экономическим и экологическим последствиям, особенно для населенных пунктов, находящихся в поймах рек. В Забайкальском крае наибольшему экономическому ущербу подвергается его административный центр – г. Чита, расположенный на берегах р. Чита. Поэтому выявление закономерностей формирования паводков на этой реке определяет актуальность данной работы, в задачи которой входит анализ дождевых паводков на р. Чита –

Abstract. Floods caused by rain floods in flood-hazardous regions, which include the Trans-Baikal Territory, lead to significant socio-economic and environmental consequences, especially for settlements located in floodplains. In the Trans-Baikal Territory, its administrative center, the city of Chita, located on the banks of the Chita River, is suffering the greatest economic damage. Therefore, the identification of the patterns of formation of floods on this river determines the relevance of this work, the task of which is to analyze the rain floods on the Chita River – the city Chita for the period

Noskova E.V., Rakhmanova N.V., Vakhnina I.L. Formation of summer rain floods on the Chita River (Transbaikalia). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 314-328 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.001

г. Чита в годы экстремально высоких расходов воды, а также количества атмосферных осадков, которыми они были обусловлены.

В работе используются данные наблюдений Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на гидрологическом посту р. Чита – г. Чита и метеостанции Чита.

В результате проведенного анализа выявлено, что наиболее значительные паводки отмечались в последнюю многоводную фазу цикла в период с 1988 по 1998 гг.

Расход воды 1991 г. оказался первым в ряду наблюдавшихся их максимальных значений на р. Чита – г. Чита за весь период наблюдений, 1988 г.– третьим, 1990 г. – пятым и 1998 г. – седьмым. Основным фактором образования паводковых волн в эти годы являлись атмосферные осадки, которых в месяцы зарегистрированного максимального расхода воды было отмечено на 50-165% больше нормы, при этом суточное количество в предпаводочный период осадков достигало 30-62 мм.

Характерной особенностью формирования паводков в Забайкальском крае, в частности на р. Чита, являются выходящие на его территорию глубокие южные или юго-западные циклоны. Длительная активная циклонической деятельность над Забайкальским краем в летний период приводит к ливневым осадкам, которые вызывают резкое увеличение расходов воды до экстремальных значений.

from 1988 to 2017 during years of extremely high water consumption, as well as the amount of precipitation due to which they were caused.

The work uses the observational data of the Trans-Baikal Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring at the hydrological post of the Chita River – the city Chita and the Chita weather station.

As a result of the analysis, it was revealed that the most significant floods were recorded in the last high-water phase of the cycle from 1988 to 1998. Water consumption in 1991 was the first among the observed maximum values on the Chita – Chita River for the entire observation period, 1988 – the third, 1990 – the fifth and 1998 – the seventh. The main factor in the formation of flood waves during these years was precipitation, which in the months of recorded maximum water discharge was 50-165% more than normal, while the daily amount in the period before the flood reached 30-62 mm.

A characteristic feature of the formation of floods in the Trans-Baikal Territory, in particular, on the Chita River, is the deep southern or south-western cyclones emerging on its territory. Long-term active cyclonic activity over the Trans-Baikal Territory in the summer leads to rainfall, which cause a sharp increase in water discharge to extreme values.

Ключевые слова: расходы воды; паводок; гидрограф; многоводный период; атмосферные осадки; Забайкальский край; бассейн Амура; река Чита.

Keywords: water consumption; high water; hydrograph; high water period; precipitation; Transbaikal Territory; Amur basin; Chita River.

Введение

По условиям формирования стока реки Забайкалья относятся к дальневосточному типу, который характеризуется невысоким весенним половодьем и мощными летними дождевыми паводками [Зайков, 1946]. Ливневые осадки в отдельные годы приводят к возникновению экстремально высоких расходов воды на водотоках, что влечет за собой наводнения со значительным экономическим ущербом [Кичигина, 2018; Шаликовский 2014; Шаликовский, 2019], усугубляющихся еще и тем, что большая часть населенных пунктов и объектов экономики Забайкальского края расположены в поймах рек [Гладкевич, Терский, Фролова, 2012; Разумов, Разумова, Пчелкин, 2015; Разумов и др., 2018].

Многолетние изменения водного режима рек Забайкалья цикличны. Исследования [Обязов, Смахтин, 2012; Обязов, 2013] показали, что с начала 20 века продолжительность циклов водности в среднем составляет 26 лет, при этом на многоводные фазы за это время приходится от 8 до 16 лет, а на маловодные – от 11 до 19 лет. Данные колебания обусловлены циклическим характером в режиме выпадения атмосферных осадков. Коэффициенты корреляции между рядами стока большинства рек Забайкалья и средней суммой атмосферных осадков имеют статистически значимую достоверность, наибольшие значения (выше 0,7) получены для бассейна р. Амур [Обязов, Смахтин, 2012], к числу которых относится и р. Чита.

В конце XX – начале XXI вв. в межгодовых изменениях атмосферных осадков можно выделить одну влажную (1982-1998 гг.) [Обязов, 2014] и одну сухую (1999-2011 гг.) [Носкова, Вахнина, Курганович, 2019] фазы. С 2012 г. началась очередная фаза повышенной увлажненности. Отмечается, что в последнюю прошедшую многоводную фазу (с середины 80-х до конца 90-х гг. XX в.) на многих реках Забайкалья увеличилась частота возникновения экстремальных максимальных расходов воды, что, вероятно, связано с увеличением интенсивности ливневых осадков [Обязов, 2013]. Поэтому в начавшуюся многоводную фазу возможно формирование паводков редкой повторяемости, которые могут повлечь за собой значительный экологический и социально-экономический ущерб.

Во время возникновения катастрофических паводков в Забайкальском крае наибольшему экономическому ущербу подвергается его административный центр – г. Чита, расположенный на берегах р. Чита.

Река Чита относится к бассейну р. Амур – одному из трех крупных бассейнов на территории Забайкалья (бассейн Тихого океана). Берет начало на высоте около 1350 м над уровнем моря в месте соединения хребтов Яблоновый и Черского (Чингиканская горная перемычка) Длина реки составляет 210 км, а площадь ее водосбора – около 4200 км^2. Питание преимущественно дождевое [Обязов, 2009]. Наблюдения на гидрологическом посту р. Чита – г. Чита ведутся с 1936 г. по настоящее время.

Целью настоящего исследования является выявление закономерностей формирования паводков на р. Чита, которые приводят к значительным экономическим ущербам в г. Чита.

В задачи исследований входила оценка межгодовых колебаний средних за летний период расходов воды и выявление лет с максимальными его значениями на гидрологическом посту р. Чита – г. Чита за период с 1988 по 2017 гг., а также анализ дождевых паводков на реке в выбранные годы и количества атмосферных осадков, их обусловивших.

Материалы

В работе используются данные наблюдений Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на гидрологическом посту р. Чита – г. Чита (среднемесячные и максимальное расходы воды, среднесуточные расходы воды в исследуемые годы) и метеостанции Чита (суммы атмосферных осадков за месяц и их суточное количество). Средние значения аномалий (отклонений) летних месячных сумм атмосферных осадков рассчитаны как отклонения от климатологической стандартной нормы за период 1981-2010 гг., выбранного в качестве базового[1].

Результаты и обсуждение

За исследуемый период с 1988 по 2017 гг. наибольшие расходы воды на р. Чита отмечались в 1988, 1990, 1991 и 1998 гг. Расчетная обеспеченность максимальных суточных расходов воды за весь период наблюдений на р. Чита – г. Чита (с 1936 г.) в 1991 (976 м^3/сек) и 1988 гг. (532 м^3/сек) была менее 5%, а в 1990 г. (480 м^3/сек) и 1998 г. (448 м^3/сек) не превышала 10%.

[1] ВМО-№ 1203. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. 2017 г. 32 С.

Так, в летний период 1988 г. на р. Чита экстремальная волна паводка начала формироваться 22 июля. Ее пик был зафиксирован 25 июля (таблица 1, рисунок 1), при этом разность среднесуточных расходов воды в начале паводка и на его пике составила 348 м^3/с. Сумма атмосферных осадков в г. Чита летом того года превысила норму почти на 80%, а в июле, когда был отмечен максимальный расход воды, – на 164% и составила 236,8 мм при норме 89,8 мм. При этом их наибольшее суточное количество (62,5 мм) было зафиксировано 17 июля. Оно является вторым в ряду наблюдавшихся наибольших суточных осадков на метеостанции Чита за весь период наблюдений.

Таблица 1. Характеристика паводков

Table 1. Flood characterization

Год	Дата максимального расхода воды	Максимальный расход воды, м^3/сек	Отклонение суммы атмосферных осадков в месяце, в котором отмечен пик паводка, от нормы, разы
1988	25.07	532	2,6
1990	17.06	480	1,4
1991	14.07	976	1,8
1998	17.07	448	1,9

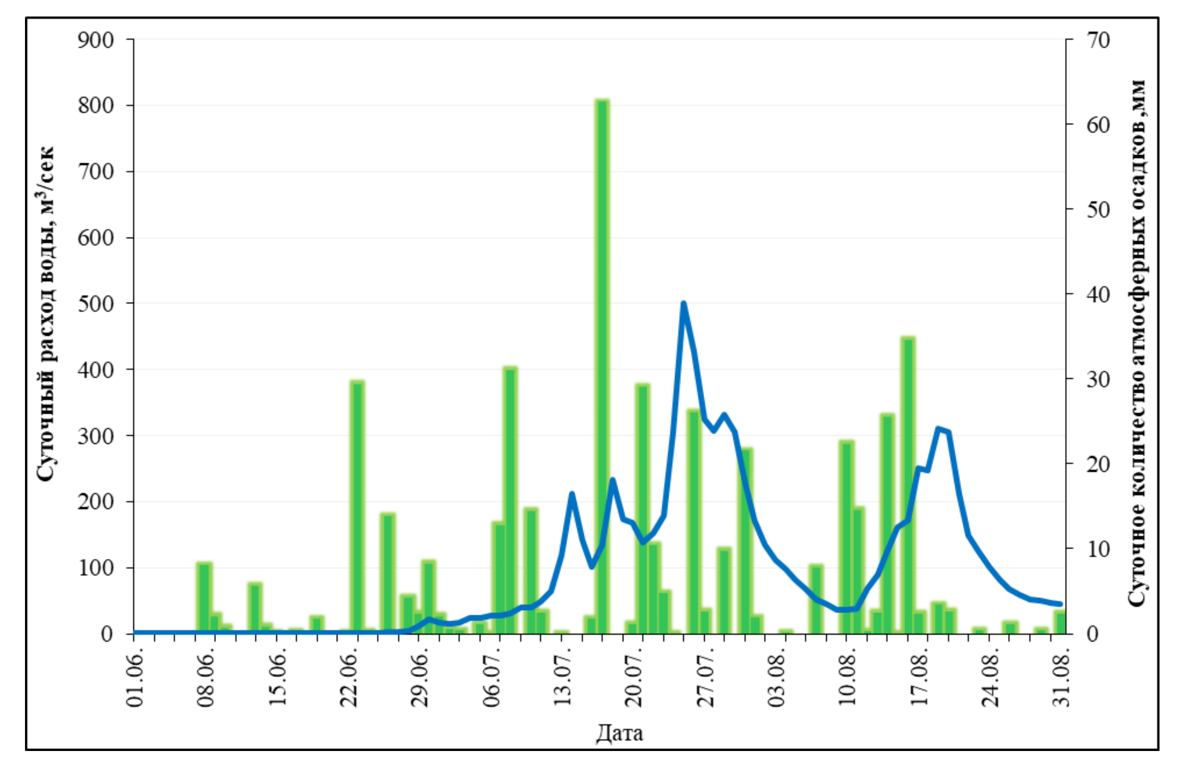


Рисунок 1. Гидрограф дождевых паводков на р. Чита – г. Чита (кривая) и суточный ход количества атмосферных осадков в г. Чита (диаграмма) за летние месяцы в 1988 г.

Figure 1. Hydrographs of rain floods on the river Chita – Chita (curve) and daily variation in the amount of precipitation in Chita (diagram) for the summer months in 1988 year

В 1990 г. паводок в отличие от остальных рассмотренных лет прошел в июне в первую наиболее выраженную паводочную волну, когда разность среднесуточных расходов воды между 17 (начало паводка) и 21 июня (пик паводка) составила 367,6 м^3/с (таблица 1, рисунок 2). Летом того года сумма атмосферных осадков на метеостанции Чита превысила норму почти на 50%, а в июне, когда был зафиксирован максимальный суточный расход воды, составивший 393 м^3/с, – на 43% (89,7 мм при норме 62,8 мм). Пику паводка предшествовало несколько дней, когда регистрировались атмосферные осадки, при этом 17 июня было отмечено их наибольшее суточное количество (26,9 мм) в том году.

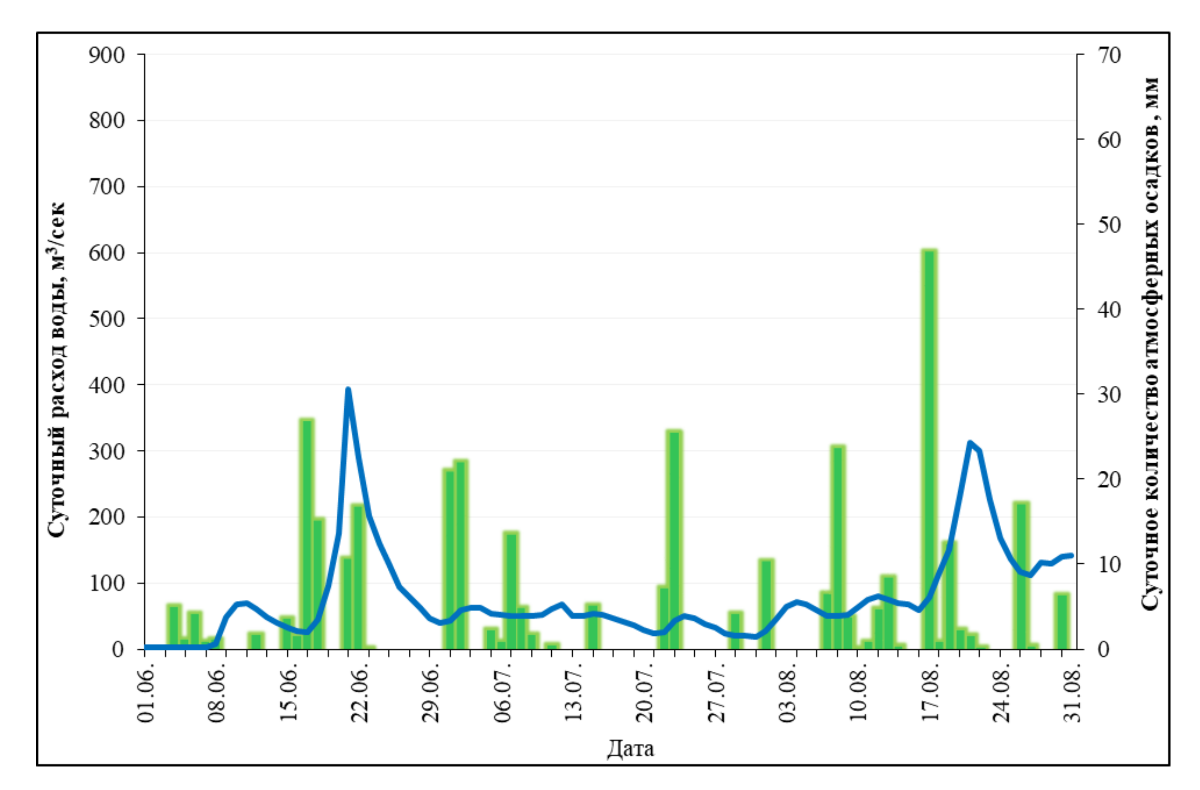


Рисунок 2. Гидрограф дождевых паводков на р. Чита – г. Чита (кривая) и суточный ход количества атмосферных осадков в г. Чита (диаграмма) за летние месяцы в 1990 г.

Figure 2. Hydrographs of rain floods on the river Chita – Chita (curve) and daily variation in the amount of precipitation in Chita (diagram) for the summer months in 1990 year

Паводковая волна 14-20 июля 1991 года с экстремальным максимальным расходом воды (976 м^3/с) (таблица 1, рисунок 3) является исторически максимальной за всю историю гидрологических наблюдений на р. Чита. За эти 6 суток расход воды, стремительно увеличился на 800,3 м^3/с, что обусловлено выпадением в эти дни практически месячной нормы осадков. В целом за этот месяц осадков было отмечено почти на 80% больше нормы, а в среднем за летние месяцы – на 7% меньше. Значение наибольшего суточного количества осадков (55,5

мм), зафиксированного 17 июля, является четвертым в ряду наблюдавшихся наибольших суточных осадков в Чите.

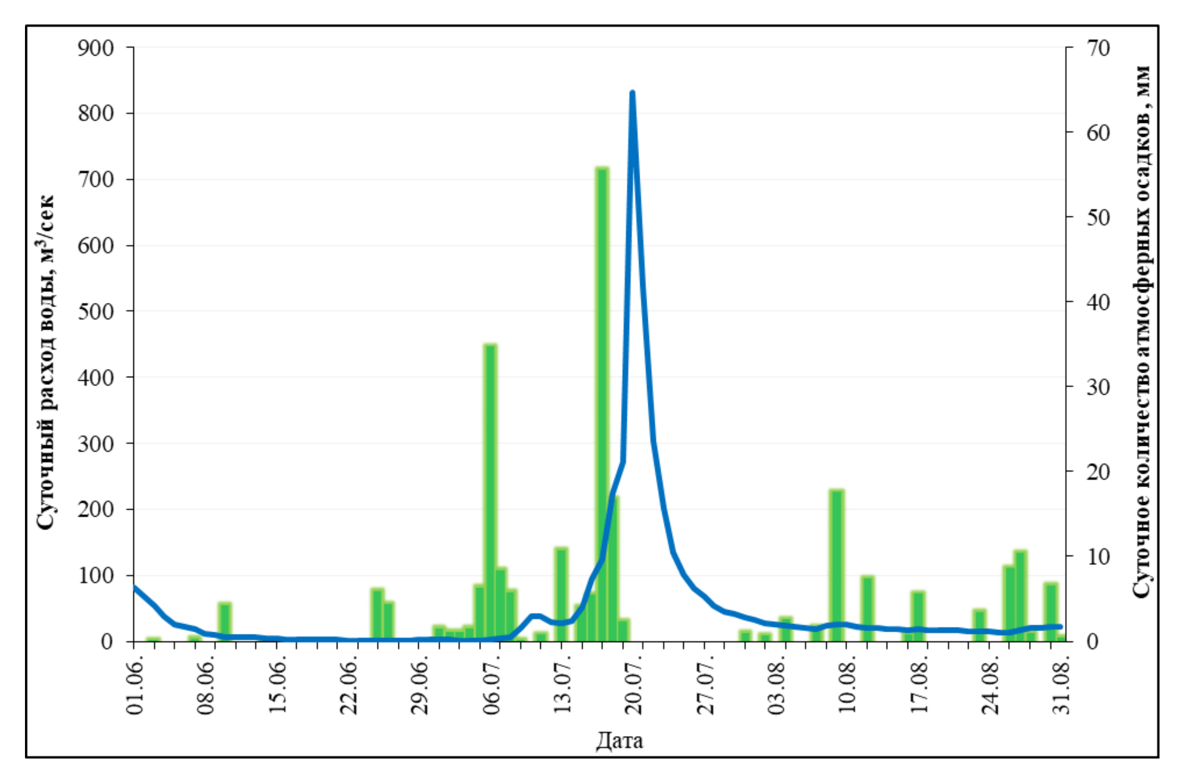


Рисунок 3. Гидрограф дождевых паводков на р. Чита – г. Чита (кривая) и суточный ход количества атмосферных осадков в г. Чита (диаграмма) за летние месяцы в 1991 г.

Figure 3. Hydrographs of rain floods on the river Chita – Chita (curve) and daily variation in the amount of precipitation in Chita (diagram) for the summer months in 1991 year

В летний период 1998 г. наиболее интенсивная волна паводка на р. Чита прошла с 17 по 21 июля (таблица 1, рисунок 4). Среднесуточный расход воды за этот период увеличился на 409,4 м^3/с. Максимальный суточный расход воды, составивший 448 м^3/с, был зафиксирован 21 июля. Как и в предыдущие годы, этому значению предшествовало наибольшее суточное количество осадков в году, отмеченное 18 июля и составившее 62,3 мм, которое является третьим значением в ряду наблюдавшихся наибольших суточных осадков в г. Чита. Сумма же атмосферных осадков в г. Чита летом того года превысила норму более чем на 50%, а в июле, когда был отмечен максимальный расход воды, – на 90%.

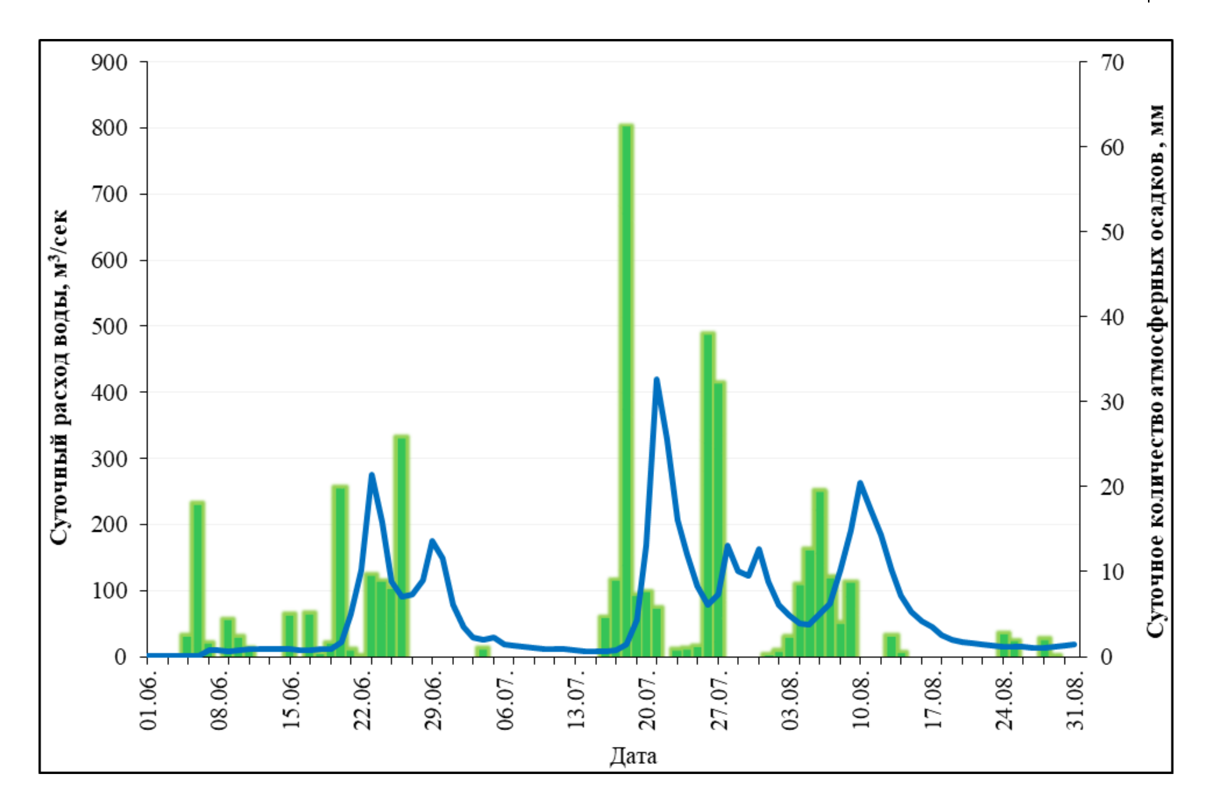


Рисунок 4. Гидрограф дождевых паводков на р. Чита – г. Чита (кривая) и суточный ход количества атмосферных осадков в г. Чита (диаграммы) за летние месяцы в 1998 г.

Figure 4. Hydrographs of rain floods on the river Chita – Chita (curve) and daily variation in the amount of precipitation in Chita (diagrams) for the summer months in 1998 year

Паводки на р. Чита в исследуемые годы привели к наводнениям со значительным социально-экономическим ущербом для г. Чита. Так, например, в 1991 г., когда отмечалось самое обширное по охвату наводнение, в зону затопления попали сотни сооружений, в том числе 24 объекта водоснабжения, 22 скважины, предприятия, сотни жилых домов, пострадало до 70 тыс. населения города [Разумов и др., 2018]. В другие годы (1988, 1990 и 1998 гг.) ущерб был менее значительный, чем в 1991 г., однако также затоплению подвергались пригородная зона г. Читы и его районы, подмывались и разрушались дороги, опоры мостов и линии электросетей и др.

За исследуемый период на р. Чита паводки, приведшие к наводнениям со значительным социально-экономическим ущербом для г. Чита, формировались в периоды повышенной влажности (рисунок 5). Аномалии атмосферных осадков в указанные годы в среднем за летние месяцы, когда расходы воды на р. Чита были наибольшие, превышали среднее значение их положительных отклонений за 1988-2017 гг. от 1,3 раза в 1990 г. до 2,5 раза в 1988 г. Исключение составляет 1991 г., в котором средняя аномалия атмосферных осадков за июнь-август была существенно ниже среднего значения положительных

отклонений за исследуемый период. Однако, несмотря на это, именно в 1991 г. был зафиксирован исторический максимум расхода воды на р. Чита в г. Чита, что обусловлено тем, что в предшествующие годы этого многоводного периода (1988-1990 гг.) выпадало значительное количество атмосферных осадков, превышающее норму за 1981-2010 гг. на 65; 7 и 33% соответственно. В то же время в 2012 г. аномалия атмосферных осадков в среднем за летний период была также выше среднего значения положительных отклонений, однако расхода воды редкой повторяемости зафиксировано не было ввиду того, что этому году предшествовал 12-летний маловодный период.

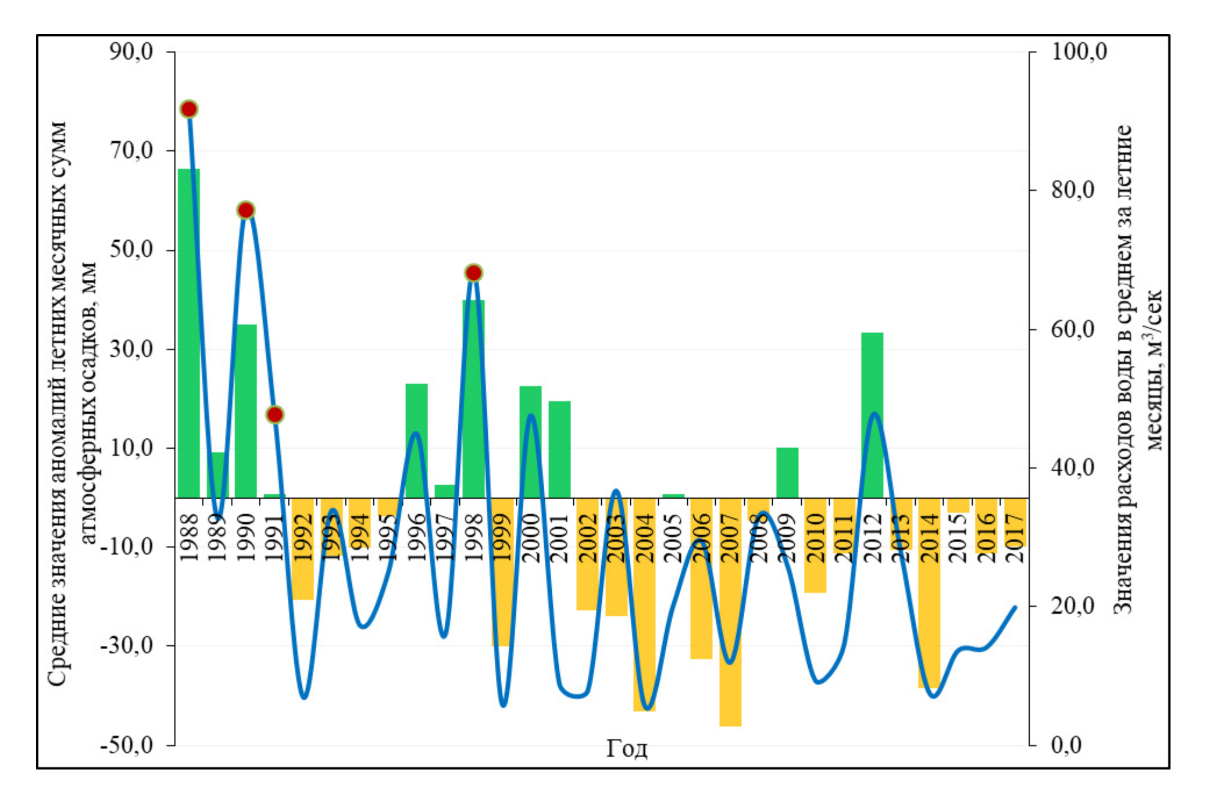


Рисунок 5. Многолетние изменения средних за летние месяцы значений расходов воды (кривая) по р. Чита – г. Чита и аномалий сумм атмосферных осадков (диаграммы) в г. Чита за 1988-2017 гг.

Figure 5. Long-term changes in the average summer water values (curve) for the river Chita – the city of Chita and anomalies in the amount of precipitation (diagrams) in the city of Chita for 1988-2017

Обзор гидрологического режима р. Чита показал, что повышенные уровни воды в весенний период за счет умеренных и значительных атмосферных осадков весной при активной циклонической деятельности чаще всего приводят в летний период к повышению

максимальных расходов воды, и, соответственно, максимальных уровней до стихийных отметок.

Анализ синоптических процессов в годы стихийных паводков на р. Чита свидетельствует о том, что возникновение паводкообразующих дождей происходит в основном при выходе на территорию Забайкалья глубоких южных или юго-западных циклонов. Их образование происходит в центральной или западной части Монголии под передней частью тропосферной ложбины. Смещаясь в северо-восточном направлении на юго-восточные и центральные районы Забайкальского края, циклоны углубляются и циркулируют достаточно длительное время, в последующем заполняясь над территорией края. Роль блокирующего антициклона в этом случае «играет» тропосферный гребень над Дальним Востоком, в то время как над Сибирью развивается глубокая тропосферная ложбина. Устойчивость атмосферных процессов приводит к длительной активной циклонической деятельности над Забайкальем, которая обуславливает сильные дожди, формирующие опасные паводки, в том числе на р. Чита.

Так, например, в 1991 г., когда был отмечен исторически максимальный расход воды, в период формирования паводочной волны на территорию Забайкальского края вышел глубокий циклон с юга (рисунок 6). Его развитие происходило по классической схеме выхода южного циклона. Траектория его движения проходила непосредственно через бассейн р. Чита.

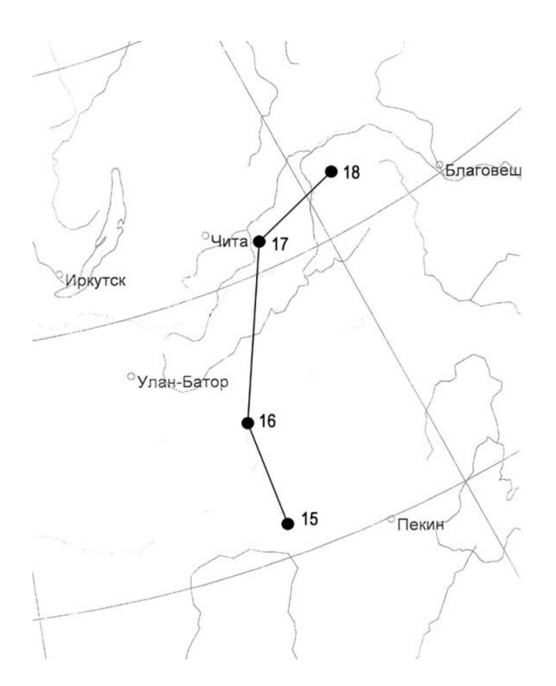


Рисунок 6. Траектории движения циклонов в районе исследуемой территории 15-18 июля 1991 г.

Figure 6. Trajectories of cyclones in the area of the study area July 15-18, 1991

Его образование произошло 15 июля над северо-западными районами Китая. Дальнейшее смещение циклона происходило согласно потоков в средней тропосфере на север: на южные, центральные и северо-восточные районы Забайкальского края. Распространение облачного массива циклона началось 16 июля днем, что обусловило дожди умеренной интенсивности по западным, южным и центральным районам края. 17 июля дожди достигли максимальной интенсивности, в том числе, в бассейне р. Чита.

Выводы

Характерной особенностью формирования дождевых паводков в Забайкальском крае, в частности на р. Чита, являются выходящие на его территорию глубокие южные или юго-западные циклоны. Длительная активная циклонической деятельность над Забайкальским краем в летний период приводит к ливневым осадкам, которые вызывают резкое увеличение расходов воды до экстремальных значений. Важным фактором достижения паводками катастрофического характера выступает наличие существенных атмосферных осадков в предпаводочный период, суточное количество которых составляет 30-62 мм.

Благодарности

Характеристика дождевых паводков выполнена в рамках базового проекта IX.137.1.1, анализ атмосферных осадков проведен при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-14-00028).

Литература

Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 2. С. 29-46.

References

Gladkevich G.I., Terskiy P.N., Frolova N.L. Otsenka opasnosti navodnenii na territorii Rossiiskoi Federatsii [Assesment of Inundation Hazard on the Territory of the Russian Federation]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water sector of Russia: problems, technologies, management]*, 2012, no. 2, pp. 29-46. (In Russian).

Kichigina, N.V. Flood Hazard on the Rivers of the Baikal Region. *Geography and Natural Resources*, 2018, vol. 39,

Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1946. 148 с.

Кичигина Н.В. Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 41-51.

Разумов В.В., Качанов С.А., Разумова Н.В., Чириков А.Г., Шагин С.И., Беккиев М.Ю., Глушко А.Я., Пчелкин В.И., Фролко С.В. Масштабы и опасность наводнений в регионах России. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. 364 с.

Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Курганович К.А. Характеристика условий увлажненности территории бессточных озер Торейской равнины с использованием метеорологических данных // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 3. С. 22-30. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30.

Обязов В.А. Изменения современного климата и оценка их последствий для природных и природно-антропогенных систем Забайкалья. Автореф. дисс.

iss. 2, pp. 120-129. (Russ. ed.: Kichigina N.V. Opasnost' navodnenii na rekakh Baikal'skogo regiona. *Geografiya i prirodnye resursy,* 2018, no. 2, pp. 41-51). DOI: 10.1134/S187537281802004X

Razumov V.V., Kachanov S.A., Razumova N.V., Chirikov A.G., Shagin S.I., Bekkiev M.Yu., Glushko A.Ya., Pchelkin V.I., Frolko S.V. *Masshtaby i opasnost' navodnenii v regionakh Rossii [The extent and danger of flooding in the regions of Russia].* Moscow, Publ. FC VNII GOChS Emercom of Russia, 2018. 364 p. (In Russian; abstract in English).

Noskova E.V., Vakhnina I.L., Kurganovich K.A. Kharakteristika uslovii uvlazhnennosti territorii besstochnykh ozer Toreiskoi ravniny s ispol'zovaniem meteorologicheskikh dannykh [Characteristic of humidity conditions of the territory of the flourless lakes of the Torey Plain with the use of meteorological data]. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Transbaikal State University Journal]*, 2019, vol. 25, no 3, pp. 22-30. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30

Obyazov V.A. Chita [Chita]. In R.F. Geniatulin (ed.). *Malaya entsiklopediya Zabaikal'ya: Prirodnoe nasledie [Small Encyclopedia of Transbaikalia: Natural Heritage].* Novosibirsk, Publ. Science, 2009, p. 641. (In Russian).

Obyazov V.A. Tendentsii mnogoletnikh izmenenii rechnogo stoka v Zabaikal'e v mnogovodnye i malovodnye periody [Trends in long-term changes in river runoff in Transbaikalia and in dry periods]. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2013, vol. 450, no. 6, pp. 713-716. . (In Russian). DOI: 10.7868/S0869565213180205

... докт. геогр. наук. Казань, 2014. 38 с.

Обязов В.А. Тенденции многолетних изменений речного стока в Забайкалье в многоводные и маловодные периоды // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450. № 6. С. 713-716. DOI: 10.7868/S0869565213180205

Обязов В.А. Чита // Малая энциклопедия Забайкалья: Природное наследие / Гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. Новосибирск: Наука, 2009. С. 641.

Обязов В.А., Смахтин В.К. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 1. С. 63-72.

Разумов В.В., Разумова Н.В., Пчелкин В.И. Масштабы и опасность наводнений в Сибирском регионе России // Наука. Инновации. Технологии. 2015. № 4. С. 103-144.

Шаликовский А.В. Наводнения в Забайкальском крае: причины, последствия, возможности прогноза // Водные ресурсы и водо-

Obyazov V.A. *Izmeneniya sovremennogo klimata i ocenka ih posledstvij dlya prirodnyh i prirodno-antropogennyh sistem Zabajkal'ya: Avtoref. diss. doct. geogr. nauk. [Changes in the modern climate and assessment of their consequences for the natural and natural-anthropogenic systems of Transbaikalia Dr. Sci. (Geography) thesis].* Kazan, 2014. 38 p. (In Russian).

Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Mnogoletnii rezhim stoka rek Zabaikal'ya: analiz i fonovyi prognoz [Long-term flow regime of the Transbaikalia rivers: analysis and background forecast]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [*Water sector of Russia: problems, technologies, management]*, 2012, no. 1, pp. 63-72. (In Russian; abstract in English).

Razumov V.V., Razumova N.V., Pchelkin V.I. Masshtaby i opasnost' navodnenii v Sibirskom regione Rossii [The magnitude and the risk of flooding in the Siberian region of Russia]. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii [Science. Innovations. Technologies]*, 2015, no. 4, pp. 103-144. (In Russian; abstract in English).

Shalikovskii A.V. Navodneniya v Zabaikal'skom krae: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti prognoza [Floods in the Trans-Baikal Territory: Causes, Consequences, Forecasting Opportunities]. In V.N. Zaslonovskii (ed.) *Vodnye resursy i vodopol'zovanie [Water Resources and Water Use]*. Chita, Publ. TbSU, 2019, pp. 11-18. (In Russian).

Shalikovskii A.V. Spetsificheskie osobennosti formirovaniya navodnenii v verkhnei chasti basseina reki Amur [Specific features of the formation of floods in the upper part of the basin Amur River]. *Materialy Chetyrnadtsatoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh*

пользование / Отв. ред. В.Н. Заслоновский. Вып. 9. Чита: ЗабГУ, 2019. С. 11-18.

Шаликовский А.В. Специфические особенности формирования наводнений в верхней части бассейна р. Амур // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов» (г. Чита, 26-28 ноября 2014 г.): в 3 ч. Чита: ЗабГУ, 2014. Ч. 3. С. 240-244.

protsessov» (Chita, 26-28 noyabrya 2014 g.): v 3 chastyakh [Materials of the Fourteenth International Scientific and Practical Conference "Kulagin Readings: Technique and Technologies of Production Processes" (Chita, November 26-28, 2014): in 3 parts], Chita, Publ. TbSU, 2014, vol. 3, pp. 240-244. (In Russian).

Zaikov B.D. *Srednii stok i ego raspredelenie v godu na territorii SSSR [The average runoff and its distribution in the year on the territory of the USSR]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1946. 148 p. (In Russian).

УДК 551.578.48 DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.006

ЛАВИННЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ ОСТРОВА САХАЛИН И КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Н.А. Казаков[1, 2], С.П. Жируев[2], М.С. Древило[3]

[1] ФГБУН Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия; [2] НИЦ «Геодинамика», г. Южно-Сахалинск, Россия; [3]ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

cdsmd@yandex.ru

AVALANCHE GEOSYSTEMS OF SAKHALIN ISLAND AND KURIL ISLANDS

Nikolay A. Kazakov[1,2], Semen P. Zhiruev[2], Mariya S. Drevilo[3]

[1]Special Research Bureau for Automation of Marine Researches of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; [2]Research Center «Geodinamics», Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; [3]State Hydrometeorological University, Sankt-Peterburg, Russia

cdsmd@yandex.ru

Аннотация. Разработана таксономическая шкала классификации лавинных геосистем и алгоритм расчёта количественных характеристик лавинных процессов и их режима на основе геоморфологической, геологической, ландшафтной, нивальной и климатической характеристики территории. Интенсивность проявления лавинных процессов и их характеристики определяются основными группами факторов, из которых геологические, геоморфологические, ландшафтные и литологические (снежная толща) факторы – доминирующие, а гидрометеорологические – инициирующие: включающие триггерный механизм лавинного процесса. Методологические принципы построения карты «Лавинные геосистемы о. Сахалин и Курильских островов» основаны на

Abstract. The taxonomic scale of classification of avalanche geosystems and algorithm of calculation of quantitative characteristics of avalanche processes and their mode on the basis of geomorphological, geological, landscape, nival and climatic characteristics of the territory are developed. The intensity of avalanche processes and their characteristics are determined by the main groups of factors of avalanche processes. Geological, geomorphological, landscape and lithological (snow pack) factors are dominant, and hydrometeorological factors is initiating: including the trigger mechanism of the avalanche process. Methodological

Kazakov N.A, Zhiruev S.P., Drevilo M.S. Calculation of the morphometric Similarity of snowstorm avalanching in the Khibiny Mountains. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 328-380 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.006

логической последовательности анализа природно-климатических условий формирования и эволюции снежного покрова в пространстве и во времени, оценке интенсивности проявления лавинных процессов и характера лавинных процессов на исследуемой территории. Методологической основой алгоритма анализа факторов лавинных процессов и определения их характеристик является иерархическая шкала факторов лавинных процессов, развивающихся в лавинной геосистеме. Этой цели отвечает иерархия таксономических уровней классификации лавинных геосистем: класс – подкласс – тип – подтип – вид. На острове Сахалине и Курильских островах выделены 3 класса (горный, береговой, равнинный), 16 подклассов, 76 типов, 99 подтипов, 114 видов лавинных геосистем. Построенная на основе разработанной методики карта лавинных геосистем острова Сахалине и Курильских островов в масштабе 1:1 000 000 содержит наиболее полные на сегодняшний день сведения о лавинных процессах и об их режиме на исследуемой территории. Предлагаемые методологические принципы построения мелко- и среднемасштабных карт лавинных геосистем для неизученных и малоизученных территорий позволяют разрабатывать содержание карт для оценки лавинной опасности как для решения научных задач, так и для использования на ранних стадиях проектно-изыскательских работ. Карта позволяет оценить вероятную степень воздействия лавинных процессов на объекты и сооружения в зависимости от их категории

principles of construction of the map «Avalanche geosystems of Sakhalin Island and Kuril Islands» are based on the logical sequence of analysis of natural and climatic conditions of formation and evolution of snow pack in space and time, assessment of the intensity of avalanche processes and the nature of avalanche processes in the study area. The methodological basis of the algorithm for analyzing the factors of avalanche processes and determining their characteristics is a hierarchical scale of factors of avalanche processes developing in an avalanche geosystem. The hierarchy of taxonomic levels of avalanche geosystems classification meets this goal: class-subclass-type-subtype-species. Sakhalin Island and the Kuril Islands have 3 classes (mountain, coastal, plain), 16 subclasses, 76 types, 99 subtypes, 114 species of avalanche geosystems. On the basis of the developed technique, a map of avalanche geosystems of Sakhalin Island and Kuril Islands on a scale of 1:1 000 000 was created. The map contains the most complete to date information about avalanche processes and their regime in the study area. Methodological principles of construction of small - and medium-scale maps of avalanche geosystems for unexplored and poorly studied areas allow to develop

и режима эксплуатации. Полученные оценки дают возможность уже на ранних стадиях проектирования определять необходимость проведения и объём изыскательских работ и объём необходимых затрат на изыскания и на разработку и проведение защитных мероприятий.

Ключевые слова: лавина; лавинный процесс; лавинная геосистема; литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова; сингенетическая лавина; эпигенетическая лавина

the content of such maps for the assessment of avalanche danger both for solving scientific problems and at the early stages of design and survey work.

Keywords: avalanche, avalanche process, avalanche geosystems, lithologic-stratigraphic complex of snow cover, syngenetic avalanche, epigenetic avalanche

Введение

Определение количественных характеристик лавинных процессов, необходимых на ранних стадиях проектно-изыскательских работ, при разработке программ по защите территорий от лавин, научных исследованиях и прочее, требует проведения масштабных полевых изысканий, что не всегда целесообразно и весьма затратно.

В таких случаях целесообразно определять характеристики лавинных процессов аналитически: составляя мелко- и среднемасштабные карты проявления лавинных процессов и разрабатывая их содержание.

Традиционный подход к оценке лавинной опасности территорий основан на выделении типов лавиноопасного рельефа, характерных для исследуемой территории.

В отдельных случаях вся территория какого-либо острова может быть представлена и одним типом лавиноопасного рельефа. Так, некоторые исследователи выделяли на о. Сахалине и Курильских островах лишь три типа лавиноопасного рельефа [Володичева, 1971; География лавин, 1992; Трошкина, 1992].

Основной упрёк к существующим методологиям создания карт лавинной опасности территории мелкого и среднего масштаба заключается в отсутствии системного подхода к оценке интенсивности проявления лавинных процессов, что приводит к серьёзным ошибкам при определении границ лавиноопасных районов и оценке характеристик лавинных процессов.

Несмотря на то, что в Российских и Японских источниках [Лавиноопасные районы Советского Союза, 1970; Иванов, 1971; Иванов, Васильев, 1975; Каталог лавин …, 1990;

География лавин, 1992; Трошкина, 1992; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1998; Казакова, Лобкина, 2007; Podolskiy et al., 2014] содержатся многочисленные сведения о лавинах на о. Сахалине и на Курильских островах с начала XX века, удовлетворительной карты лавинных процессов на этой территории нет.

Регулярные исследования лавинных процессов на о. Сахалине и на Курильских островах проводятся с 1965 г. (Сахалинское УГМС, лавино-обвальная группа Сахалинского отделения ДВЖД, Сахалинское отделение МАНПО, НИЦ «Геодинамика», лаборатория лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ ДВО РАН, лавинная станция РЖД, лаборатория экзогенных геодинамических процессов и снежного покрова СКБ САМИ ДВО РАН).

До начала 80-х годов XX века исследования лавинных процессов проводились в основном на юге о. Сахалина, где Сахалинским УГМС к 1980 г. было создано 5 снеголавинных станций. В 1978 г. была создана снеголавинная станция на Курильских островах: на о. Парамушир. В начале 80-х годов XX века были создано 2 снеголавинных станции в средней части о. Сахалин.

В 1982 г. Н.А. Казаковым (Сахалинское УГМС) была организована снеголавинная экспедиция на Чамгинском перевале (Восточно-Сахалинские горы, Средний Сахалин), действовавшая до конца 90-х годов XX века.

В 80-е–90-е годы XX века Сахалинское УГМС, а затем СО МАНПО, НИЦ «Геодинамика» и лаборатория лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ ДВО РАН регулярно организовывали экспедиции по исследованию лавинных процессов на о. Сахалине и на Курильских островах.

Таким образом, был собран обширный полевой материал о лавинных процессах на о. Сахалине и на Курильских островах. Однако материал этот до настоящего времени систематизирован не был, а полноценных карт лавинных процессов на территории до сих пор создано не было.

Создание Кадастра лавин СССР [Кадастр лавин СССР, 1988] лишь в некоторой степени позволило систематизировать данные о лавинах.

Кроме того, во многих работах содержатся ошибочные данные и устаревшие представления о лавинных процессах на о. Сахалине и на Курильских островах [Лавиноопасные районы Советского Союза, 1970; Володичева, 1971; География лавин, 1992; Трошкина, 1992; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1998].

Постановка проблемы

Любой сложный физический объект или совокупность объектов, между которыми существуют физические связи, можно описать как физическую систему [Гиг, 1981]. Целостное географическое территориальное образование, объединённое потоками вещества, энергии и информации, обладающее структурой, формирующейся из элементов, отношений между ними и их связей с внешней средой можно описать как геосистему [Сочава, 1978]. Главными свойствами геосистем являются целостность, эмерджентность, структурность, способность создавать и поддерживать высокую степень внутренней упорядоченности (система с низкой энтропией), взаимосвязанность системы и среды, иерархичность, управляемость, устойчивость, множественность описаний, территориальность, динамичность, сложность.

Поскольку лавинные процессы (как и любые другие природные процессы) на какой-либо территории должны рассматриваться в связи со всеми природными процессами, протекающими на ней, мы имеем все основания описать обособленную территорию, на которой развиваются лавинные процессы, как *лавинную геосистему*, удовлетворяющую вышеперечисленным условиям.

Методика

Большинство исследователей изучают лавинные процессы, прежде всего, для исследования распространения лавин по территории, исходя из упрощённых представлений о лавинном процессе как о феномене, вызываемом, преимущественно, метеорологическими факторами.

Однако без объяснения физической сущности лавинных процессов невозможно вывести закономерности распространения и режима лавин.

Для расчёта характеристик лавинных процессов аналитическим способом нами были разработаны методологические принципы построения мелко- и среднемасштабных карт лавинных геосистем для малоизученных районов среднегорья и низкогорья.

Методологические принципы, положенные в основу предлагаемой методики построения и разработки содержания карт лавинных геосистем, основаны на представлениях синергетическом воздействии факторов лавинообразования на эволюцию лавинной геосистемы.

Представление о лавинной геосистеме как о триггерной геосистеме [Казаков, 2003; Казаков, 2009б], в которой происходят процессы самоорганизации упорядоченных структур

[Эбелинг, 1979; Хакен, 1985], позволяет утверждать, что ведущую роль в лавинном процессе играют физические процессы, происходящие внутри снежной толщи [Казаков, 2000]. Это положение позволяет выделить доминирующие группы факторов лавинообразования: литологические (снежная толща и процессы её диагенеза), геологические и геоморфологические.

Количественно описать строение снежной толщи в ландшафтах разных типов и определять её для неизученных территорий на основе их сопоставления с ландшафтами-аналогами позволяет теория эволюции кристалломорфологической структуры снежной толщи [Тушинский, 1951; Коломыц, 1976; Древило, 1981; Казаков, 2000; Древило, 2001; Kazakov et al., 2012; Sokratov, Kazakov, 2012; Коломыц, 2013; Казаков, 2015]. Использование методов кристалломорфологического анализа снежной толщи и ландшафтно-индикационных свойств снежного покрова позволяет подойти к описанию снежной толщи как горной породы [Казаков, 2000; Казаков, 2015], то есть рассматривать снежную толщу в лавинной геосистеме как литологический комплекс.

Подобный подход позволяет построить унифицированную таксономическую шкалу классификации лавинных геосистем, открывающую возможность комплексно разрабатывать содержание карт лавинных геосистем как триггерных геосистем, развивающихся по одним инвариантам.

Как подсистемная единица ландшафтно-зональной системы, лавинная геосистема может быть описана в соответствии с общими принципами описания сложных систем [Черешкин, Кононов, Тищенко, 1999]:

1. Принцип классификации, устанавливающий необходимость классификации значений параметров системы. В соответствии с этим принципом разработана таксономическая шкала лавинных геосистем, базирующаяся на принципах построения ландшафтных классификаций [Казаков, 2000; Древило, 2001].

2. Принцип многоуровенного описания, согласно которому объект при его системном описании должен быть описан: как элемент более широкой системы; как целостное явление; как сложная структура, внутреннее строение которой нужно представить с достаточной степенью детализации.

В соответствии с этими принципами и с использованием принципов кластерного анализа, разработаны принципы описания лавинной геосистемы как многоуровневой системы.

Одна из основополагающих идей, лежащих в основе предлагаемой методики построения карт лавинных геосистем, заключается в том, что геологическое,

геоморфологическое и ландшафтное строение и климат территории, как факторы лавинных процессов в различных его фазах, рассматриваются как элементы единого процесса, развивающегося в триггерной геосистеме – лавинной геосистеме.

Алгоритм создания карт лавинных геосистем основан на системном анализе геологических, геоморфологических, ландшафтных, нивальных и гидрометеорологических условий формирования и эволюции лавиносборов и снежного покрова и оценке характера лавинных процессов на исследуемой территории.

Комплексный подход [Гиг, 1981] к оценке интенсивности проявления лавинных процессов, учитывающий особенности геологического, геоморфологического и ландшафтного строения территории, позволяет выделить территории, сходные по условиям лавинообразования и характеристикам лавинных процессов – даже в том случае, если они находятся в разных географических округах.

Вышеизложенные взгляды на лавинный процесс позволяют выбрать геологические, геоморфологические, ландшафтные и литологические факторы лавинообразования в качестве основных критериев выделения таксономических единиц иерархического ряда лавинных геосистем.

Предлагаемые подходы позволили разработать следующие методологические принципы оценки лавинной опасности территории как методики построения карт лавинных геосистем для малоизученных территорий [Казаков, 2000; Древило, 2001]:

1. Зависимость характера и скорости метаморфизма снежной толщи от характеристик вмещающего ландшафта.

Спектр типов стратиграфических колонок для любой территории будет определяться полиморфностью её ландшафтного строения, степенью гидроморфности низших таксономических уровней ландшафта и спектром типов метеорологических условий зимнего сезона. Ландшафтно-индикационные свойства снежного покрова позволяют восстанавливать адекватную картину состояния и развития снежной толщи на любой территории на основе её ландшафтных и климатических характеристик. Методика кристалломорфологического анализа структуры снежной толщи [Коломыц, 1976; Древило, 1981; Sokratov, Kazakov, 2012; Коломыц, 2013; Казаков, 2015] позволяет рассчитать время появления лавиноопасных слоёв в снежной толще и определить время наступления наиболее вероятного периода формирования эпигенетических и полигенетических лавин, а также оценить их вероятный объём и энергию.

Седиментация и диагенез снежной толщи, ведущие к формированию в ней лавиноопасных слоёв, происходят в определённых формах рельефа – лавиносборах, являющихся частью лавинной геосистемы.

2. Описание лавинного процесса как непрерывного процесса, развивающегося в триггерной геосистеме – лавинной геосистеме – позволяет аналитически определить искомые характеристики лавинных процессов на неизученной территории.

3. Морфометрические характеристики лавиносборов и, как следствие, объёмы лавин и степень их воздействия на окружающие системы рассчитываются на основе данных о геологическом строении и характеристиках рельефа.

Таксономическая шкала лавинных геосистем разработана на основе принципов построения таксономии – теории классификации и систематизации сложно организованных областей действительности.

В основу выделения самой крупной таксономической единицы классификации лавинных геосистем – класса – положены морфоструктуры рельефа [Щукин, 1974].

Факторы лавинных процессов. Интенсивность проявления лавинных процессов и их характеристики определяются основными группами факторов, из которых первые три являются доминирующими.

Первая группа факторов – геологические. Лавиносборы формируются геологическими процессами: в частности, процессами эрозии и денудации. Скорость образования, морфологический тип и площадь лавиносборов, их суммарная площадь и густота сети определяются скоростью указанных процессов, которая, в свою очередь, зависит от состава горных пород и возраста геологических построек. Состав и физико-механические показатели пород – коэффициент крепости, балл устойчивости и сопротивление раздавливанию позволяют определить скорость выветривания пород, оценить степень расчленённости склонов и рассчитать такие характеристики лавиносборов, как преобладающий морфологический тип, средняя площадь и густота сети.

Например, горы Ламанон (западное побережье о. Сахалин), сложенные интрузивными породами – андезитами и дацитами (балл устойчивости пород >IV, коэффициент крепости пород >10, сопротивление раздавливаемости – 700-1400 кг/см^2), – несмотря на то, что крутизна склонов превышает 40^o, очень слабо расчленены денудационными процессами. В результате площади лавиносборов превышают 5 га, площадь поражённости территории лавинными процессами достигает 90%, густота сети лавиносборов – 8-10 на км^2. Объёмы лавин могут превышать 40 000 м^3, однако вследствие крутизны склонов в зонах отрыва лавин время

существования гомогенной снежной толщи не достаточно для того, чтобы коэффициент её перекристаллизации превысил значение 0,25. В результате здесь преобладают лавины нового снега объёмом менее 1 000 м^3.

Напротив, на побережье Татарского пролива между городами Горнозаводск и Невельск крутые (40º-45º) склоны, сложенные песчаниками и алевролитами Невельской свиты (балл устойчивости пород – III, коэффициент крепости пород – 2-3, сопротивление раздавливаемости – 200-500 кг/см^2) расчленены густой сетью желобов площадью 0,1-0,3 га, заложенных по эрозионным врезам, в которых формируются лавины сравнительно небольшого объёма: 100-1 000 м^3. Большая крутизна склонов в зонах отрыва лавин не позволяет накапливаться снежному покрову достаточной толщины, из-за чего объёмы лавин невелики. Площадная поражённость территории лавинными процессами достигает 80%, густота сети лавиносборов – 15-25 на км^2.

На примыкающем с севера участке с аналогичными геоморфологическими характеристиками (г. Невельск) площадная поражённость территории лавинными процессами составляет 70 %, средняя площадь лавиносборов – 0,5-1,0 га, густота сети лавиносборов – 10-12 на км^2. Лавиносборы заложены по денудационным воронкам и оползневым циркам. Склоны в зонах отрыва лавин менее крутые, чем на предыдущем участке: 30º-35º, благодаря чему в снежные зимы толщина снежного покрова достаточно велика, а значение коэффициента перекристаллизации снежной толщи может достигать 0,9. По этим причинам объёмы лавин здесь достигают 18 000 м^3 (в среднем – около 1 000 м^3). Причина различия заключается в том, что в этом районе лавиносборы формируются на склонах, сложенных породами, менее устойчивыми к процессам выветривания и, соответственно, денудации: алевролитами и аргиллитами (балл устойчивости пород III, коэффициент крепости пород – 2-3, сопротивление раздавливаемости – 100-200 кг/см^2), более подверженными воздействию эрозионных процессов.

В Восточно-Сахалинских горах (Средний Сахалин) и в Сусунайском хребте (Южный Сахалин), сложенных устойчивыми к разрушению мезозойскими метаморфическими образованиями, в крупных денудационных воронках сформированы развитые лотковые лавиносборы большой площади (20 и более га), часто объединённые в лавинные бассейны. Здесь созданы условия для накопления мощной снежной толщи, её диагенеза, формирования лавиноопасных слоёв и зарождения катастрофических лавин объёмом более 1 000 000 м^3.

Вторая группа факторов – геоморфологические. Форма рельефа и глубина его расчленения служат основой для расчёта уклонов лавиносборов и, соответственно,

динамических характеристик лавин: в частности, максимальной дальности их выброса – то есть определить положение нижней границы лавиносбора и лавинной геосистемы.

Морфология лавиносборов оказывает важное влияние на строение конусов выноса лавин. В лавинных геосистемах Среднего Сахалина лавиносборы лоткового типа отличаются глубоко врезанными лавинными лотками. В результате, в зоне аккумуляции лавинный поток не распластывается и конусы выноса лавин даже малых объёмов имеют значительную толщину. В Восточно-Сахалинских горах конус выноса лавины нового снега при объёме 100-150 м^3 может достигать толщины до 3,0 м.

В районах развития вулканического рельефа (горы Ламанон и Курильские острова) характер лавинообразования регулируется возрастом вулканических построек – конусов стратовулканов. На действующих голоценовых вулканах, представляющих собой правильные вулканические конусы, слаборасчленённые эрозией, лавиносборы лоткового типа не сформированы. Интенсивное ветровое воздействие формирует толщу коррозионно-полиэдрического (метелевого) снега, в которой замедлены процессы перекристаллизации. В результате интенсивность проявления лавинных процессов здесь низкая. Вследствие значительной крутизны склонов, не позволяющих накапливаться снежной толще достаточной мощности, лавины больших объёмов здесь формируются очень редко.

На старых вулканических постройках барранкосы (радиально расходящиеся от вершины до подножия склонов эрозионные борозды), заросшие кедровым стлаником и каменной берёзой, представляют собой развитые лавиносборы лоткового типа, в которых снежная толща активно накапливается и проходит полный цикл перекристаллизации. В результате, здесь имеются все условия для формирования лавин большого объёмом, более 1 000 000 м^3.

Третья группа факторов – ландшафтные и литологические. Характеристики снежного покрова в лавиносборах и особенности его эволюции определяют динамику лавинных процессов и их режим. В свою очередь, зависимость от ландшафта физических свойств снежного покрова и скорости его эволюции позволяет оценить интенсивность лавинных процессов.

В отличие от авторов работ [Карта лавиноопасных районов Советского Союза, 1971; География лавин, 1992; Трошкина, 1992; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1998], унифицирующих факторы лавинообразования и описывающих лавинные процессы в каждой горной стране как однотипные, мы дифференцируем территорию, выделяя лавинные геосистемы не только в зависимости от типов метеорологических и климатических условий,

но и в зависимости от типов вмещающих ландшафтов, характерных для одной группы ландшафтов, то есть выделяя литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова.

Четвертая группа факторов – гидрометеорологические – является *инициирующими* факторами, включающими триггерный механизм лавинного процесса, а также определяющими лавинный режим.

Закономерности проявления лавинных процессов в лавинных геосистемах позволяют оценить интенсивность проявления лавинных процессов на малоизученной или неизученной территории, рассчитать значения характеристик лавинных процессов и разработать содержание лавинных карт. Рассчитанные характеристики лавинных процессов позволяют определить характер их воздействия на объекты, сооружения и селитебные территории и оценить их уязвимость.

Для оценки интенсивности проявления лавинных процессов мы использовали комплексный подход, учитывающий как особенности рельефа и климатические условия, так и закономерности эволюции снежного покрова во времени и пространстве. Разнообразие природных условий на о. Сахалин и на Курильских островах определяет сложный режим лавинных процессов, что находит отражение в многообразии лавинных геосистем.

Карта лавинных геосистем о. Сахалин и на Курильских островов в масштабе 1:1 000 000 (рисунок 1) построена как карта районирования территории по интенсивности проявления лавинных процессов.

Методологические принципы построения карты «Лавинные геосистемы о. Сахалин и Курильских островов» основаны на логической последовательности анализа природно-климатических условий формирования и эволюции снежного покрова в пространстве и во времени, оценке интенсивности проявления лавинных процессов и характера лавинных процессов на исследуемой территории.

Методологической основой алгоритма анализа факторов лавинных процессов и определения их характеристик является иерархическая шкала факторов лавинных процессов, развивающихся в лавинной геосистеме.

Этой цели отвечает иерархия таксономических уровней классификации лавинных геосистем: класс – подкласс – тип – подтип – вид.

I. Класс – наиболее крупная таксономическая единица, объединяющая лавинные геосистемы, сформировавшиеся в однотипных морфоструктурах рельефа. Иерархический уровень класса лавинных геосистем – район, в котором группы факторов лавинообразования, зависящих от макрорельефа, идентичны. Резко расчленённый альпинотипный рельеф горных

хребтов с развитым растительным покровом создаёт условия для наиболее активного развития лавинных процессов.

II. Подкласс лавинных геосистем выделяется по идентичности геоморфологических структур [Атлас Сахалинской области, 1967; Александров, 1973], характеризующихся определёнными морфометрическими и морфологическими особенностями, и по составу геологических пород [Атлас Сахалинской области, 1967; Геология СССР, 1970; Карта литологических комплексов…, 1984]. Иерархический уровень подкласса лавинных геосистем – группа лавиносборов, имеющих близкие морфометрические характеристики. Границы подклассов лавинных геосистем выделялись в высотном диапазоне, в котором находится данная геосистема. Верхняя их граница определялась высотой зоны отрыва лавин, нижняя – границей предельной дальности выброса лавин по С.М. Козику [Козик, 1962]. Нижняя граница лавинных геосистем не имеет определённой высотной привязки и может колебаться в широком диапазоне, зависящем от дальности выброса лавин. Этим предопределяется пересечение изогипс рельефа границами подклассов лавинных геосистем. Морфология и морфометрия геоморфологических структур позволяют определить диапазон значений параметров лавиносборов, определить их морфологический тип [Северский, Благовещенский, 1983] и густоту их сети. Характеристики лавиносборов, определяемые на этом таксономическом уровне: преобладающий морфологический тип лавиносбора, средняя площадь, количество лавиносборов на погонный километр.

III. Тип лавинных геосистем – таксономическая единица, выделенная по климатическим факторам лавинообразования: среднемноголетней сумме твёрдых осадков за сезон, продолжительности залегания снежного покрова, наибольшей декадной высоте снежного покрова по постоянной рейке на метеорологической площадке гидрометеорологической станции и ветровому перераспределению снега (числу дней с метелью). Границы типов лавинных геосистем определены на основе климатических особенностей территорий, что согласуется с климатическим и природным районированием о. Сахалин и на Курильских островов [Атлас Сахалинской…, 1967; Земцова, 1968]. За основу взяты материалы наблюдений опорных для климатических районов метеостанций, полученные из опубликованных источников [Справочник по климату СССР, 1985; Научно-прикладной справочник…, 1990; Материалы наблюдений за осадками…, 1994].

IV. Подтип лавинных геосистем – на данном таксономическом уровне характеризуются группы лавинных геосистем с близкими условиями выпадения твёрдых

осадков и сходными характеристиками снежного покрова в зоне зарождения лавин и лавинного режима.

На этом таксономическом уровне анализируются метеорологические показатели, в наибольшей степени влияющие на динамику лавинных процессов: максимальная сумма твёрдых осадков за сезон, суммы осадков за снегопад и за сутки, число снегопадов с суммой осадков более 10 мм и максимальная высота снежного покрова в зоне зарождения лавин. Для описания подтипов на данном таксономическом уровне горного класса использованы материалы наблюдений авторов, данные осадкомерных, снегомерных, авиадесантных работ, а также сведения литературных источников [Атлас Сахалинской области, 1967; Справочник по климату СССР, 1985; Материалы наблюдений за осадками…, 1994].

V. Вид лавинных геосистем выделяется на основе литологических (снежный покров) и ландшафтных [Литенко, 1992] факторов лавинообразования, обусловливающих динамику структурных преобразований снежного покрова в лавиносборе, характер и скорость диагенеза снежной толщи и пространственную изменчивость её структуры, что позволяет рассчитать время наступления периодов наибольшей вероятности формирования лавин наиболее опасного генетического класса – эпигенетических и полигенетических, связанных с перекристаллизацией снежной толщи (то есть время наступления периода максимальной лавинной опасности), их максимальные объёмы и динамические характеристики. На этом уровне определяются особенности строения снежной толщи, характерные для групп лавинных геосистем, приводятся количественные параметры, описывающие строение снежной толщи.

Снежный покров в однотипных ландшафтах правомерно описывать как *литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова,* проходящий седиментацию и диагенез в сходных гидрометеорологических и геофизических условиях и формирующий в однотипные зимы спектры стратиграфических колонок снежной толщи с близкими структурой, текстурой, стратификацией (количество и толщина снежных слоёв) и физическими характеристиками [Kazakov N.A. et al., 2012; Казаков, 2015]. Снежный слой можно описать как *фацию*, а снежную толщу – как *формацию*.

Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова формируется и эволюционирует в конкретном ландшафте под воздействием всей совокупности протекающих в нём физических, геологических и географических процессов. Его эволюция детерминирована: в её ходе формируется снежная толща, структурно-текстурные и физические характеристики которой задаются гидрометеорологическими и геофизическими условиями вмещающего ландшафта и могут быть заранее рассчитаны.

В однотипных ландшафтах, расположенных в разных регионах, формируются близкие по своим параметрам литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова. В разных ландшафтах даже в однотипные зимы снежная толща имеет разную стратификацию, структуру и текстуру.

Показателями устойчивости снежной толщи в лавиносборе являются *количественные* параметры, описывающие строение и степень преобразования структуры (форма и размер ледяных кристаллов) и текстуры (взаимное расположение кристаллов и пор в снежном слое и ориентировка оптических осей кристаллов) в снежном слое.

В качестве таких параметров авторы использовали коэффициенты *перекристаллизации* ($K_П$), *вторичного расслоения* ($K_{ВР}$) [Коломыц, 1976] и *текстуры* (K_T) [Древило, 1981; Казаков, 2015] снежной толщи:

$$K_П=H_1/H, \quad (1)$$

$$K_{ВР}=\sum N_2 * H_2/\sum H_1 * N_1, \quad (2)$$

$$K_T=H_B/H, \quad (3)$$

где H – суммарная толщина снежного покрова;

H_1 – суммарная толщина слоёв вторично-идиоморфного снега;

H_2 – суммарная толщина слоёв, выполненных кристаллами скелетного класса форм;

H_B – суммарная толщина слоёв с волокнистой текстурой,

$\sum N_2$ – суммарное содержание кристаллов скелетного класса форм, %;

$\sum N_1$ – суммарное содержание кристаллов вторично-идиоморфного снега, %.

Сочетание коэффициентов позволяет количественно описать строение снежной толщи (таблица 1) в любой период зимы.

Таблица 1. Количественные критерии выделения литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова

Table 1. Quantitative criteria for the allocation of lithological-stratigraphic complexes of snow pack

Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи Coefficient of snow pack secondary stratification	Степень преобразования структуры снежной толщи Degree of snow pack structure (microstructure) transformation	Коэффициент текстуры снежной толщи Coefficient of snow pack texture (structure)	Степень преобразования текстуры снежной толщи Degree of snow pack texture (structure) transformation
> 0,5	Сильно перекристаллизованная Highly recrystallized	> 0,3	Сильно разрыхленная Highly loosened
> 0,3 - ≤ 0,5	Умеренно перекристаллизованная Moderately recrystallized	> 0,2 - ≤ 0,3	Умеренно разрыхленная Moderately loosened
> 0,1 - ≤ 0,3	Средне перекристаллизованная Medium recrystallized	> 0,1 - ≤ 0,2	Средне разрыхленная Medium loosened
≤ 0,1	Слабо перекристаллизованная Weakly recrystallized	≤ 0,1	Слабо разрыхленная Weakly loosened

При прочих равных условиях сход лавин тем более вероятен, чем выше значения вышеприведённых коэффициентов. При увеличении средних значений $К_т$ до 0,44, $К_п$ – до 0,69, а $К_{вр}$ – до 0,68 происходит массовый сход лавин [Древило, 1999].

В том случае, когда лавиноопасный слой расположен в нижней части снежной толщи, вероятен сход лавин максимальных объёмов, которые могут сходить как во время снегопадов и метелей, так и в периоды снеготаяния. В том случае, когда лавиноопасный слой расположен в средней или верхней части снежной толщи, сходят лавины из верхних слоёв снега. Объёмы таких лавин меньше, чем в предыдущем случае, но сход их возможен, также как во время метелей, так и в периоды оттепелей. В работах [Лавиноопасные районы Советского Союза, 1970; Володичева, 1971; Карта лавиноопасных районов Советского Союза, 1971;

Кадастр лавин СССР, 1988; География лавин, 1992; Трошкина, 1992] доминирующая роль в лавинообразовании на Курильских островах слоёв перекристаллизованного снега отрицалась либо неоправданно ограничивалась площадь ареалов, в которых лавинные процессы тесно связаны с перекристаллизацией снежной толщи. Такой взгляд приводил к занижению степени лавинной опасности Курильских островов.

При решении задачи прогноза лавин и расчёта их динамических характеристик важнейшим становится вопрос об их классификации. Лавины разных генетических типов обладают разными значениями динамических характеристик (таблица 2).

Наиболее продуктивным для решения научных и прикладных задач лавиноведения и наиболее полно отражающим феноменологию лавинного процесса представляется подход к классификации лавин, предложенный В.В. Дзюбой [Дзюба, 1983], который выделял три генетических класса лавин: сингенетические, эпигенетические и полигенетические.

Однако для моделирования лавин и расчёта их характеристик, а также для оценки уязвимости объектов, сооружений и селитебных территорий при воздействии лавин, необходима более дробная классификация эпигенетических лавин, связанных с перекристаллизацией снежной толщи, а лавины мокрого снега следует отнести к сингенетическим.

Доминирующими процессами в образовании эпигенетических и полигенетических лавин являются процессы перекристаллизации снежной толщи (триггерный механизм лавинообразования).

Таблица 2. Генетическая классификация лавин (по Н.А. Казакову)

Table 2. Genetic classification of avalanches (by N. A. Kazakov)

Генетический тип лавины Genetic type of avalanche	Плотность лавинообразующего снега, г/см^3 Avalanche-forming snow density, g/sm^3	Характер движения лавины Avalanche movement Pattern	Макс. объём лавины, тыс. м^3 Max. avalanche volume, thousand m^3	Макс. дальность выброса лавины, м Max. avalanche run-out distance, m	Макс. скорость лавины, м/с Max. avalanche velocity, m/s	Преобладающие процессы, определяющие генезис лавин Predominant processes determining of the avalanche genesis
1	2	3	4	5	6	7
I. Генетический класс лавин: сингенетические лавины I. Genetic class of the avalanches: syngenetic avalanche						
Метелевого снега (снежная доска) Snow blizzard (snow slab)	0,20 - 0,50	Ламинарный; Скольжение Laminar; Slide	5,0	400	30	Метеорологические процессы Meteorological processes
Мокрого снега Wet snow	0,15 - 0,50	Ламинарный; Вязкое течение Laminar; Viscous flow	5,0	300	15	
Свежевыпавшего снега New snow	0,05 - 0,15	Турбулентный Turbulent	10,0	500	40	

1	2	3	4	5	6	7
II. Генетический класс лавин: эпигенетические лавины II. Genetic class of the avalanches: epigenetic avalanches						
Перекристаллизованного снега Recrystallized snow	0,22 - 0,38	Турбулентный; Волновой процесс Turbulent; Wave process	>50,0	>1000	>80	Геофизические процессы в снежной толще Geophysical processes in the snow pack
III. Генетический класс лавин: полигенетические лавины III. Genetic class of the avalanches: polygenetic avalanches						
Смешанного перекристаллизованного и сухого свежевыпавшего снега Mixed dry snow: recrystallized and new snow	0,25 - 0,35	Турбулентный; Волновой процесс Turbulent; Wave process	>1400,0	>3000	>80	Геофизические процессы в снежной толще в сочетании с гидрометеорологическими процессами Combination the Geophysical processes in the snow pack with hydro-meteorological|processes
Смешанного перекристаллизованного и сухого метелевого снега Mixed dry snow: recrystallized and snowstorm	0,25 - 0,45		>1000,0	>2000	>80	
Смешанного перекристаллизованного и мокрого снега Mixed snow: recrystallized and wet	0,35 - 0,50		100,0	1200	50	

Результаты и их обсуждение

Иерархия таксономических уровней лавинных геосистем на о. Сахалине и Курильских островах.

I**. Класс** – высшая таксономическая единица, на уровне которой выделяются группы лавинных геосистем, формирующихся в крупных морфоструктурах рельефа. Характер проявления лавинных процессов позволяет выделить три класса лавинных геосистем.

1**. **Горный класс. Горы. Лавинные геосистемы формируются на горных склонах. Преимущественно альпинотипный рельеф. Абсолютные высоты рельефа от 300 до 2 600 м (влк. Алаид), глубина расчленения – 400-1 500 м и более. Преобладающие морфологические типы лавиносборов: долина и воронка. Интенсивность проявления лавинных процессов очень высокая. Преобладающий морфологический тип лавин: лотковая. Максимальные объёмы лавин превышают 1 000 000 м^3. Однако интенсивность проявления лавинных процессов в геосистемах горного класса зависит от ландшафтных условий (высотная поясность).

Так, в гольцовой зоне интенсивное ветровое воздействие формирует в лавиносборах снежную толщу, выполненную метелевым снегом плотностью 400 кг/м^3 и более. В такой снежной толще сильно замедлены процессы её перекристаллизации и лавиноопасные снежные слои формируются медленно. Значительная крутизна склонов не позволяет накапливаться снежному покрову достаточной толщины. В результате, интенсивность лавинных процессов в этой зоне не высока и лавины больших объёмов здесь не формируются.

Напротив, в лавиносборах лоткового типа, расположенных в следующей высотной зоне (абсолютные высоты рельефа – от 300 до 1 100-1 300 м), заросших кедровым стлаником и каменной берёзой, снежная толща активно проходит цикл метаморфических преобразований, в результате чего здесь возникают условия для формирования лавин большого объёма.

2. Береговой класс. Лавинные геосистемы формируются на склонах береговых уступов и морских аккумулятивно-денудационных и аккумулятивных террас. Абсолютные высоты рельефа – 10-300 м, глубина расчленения – от 10 до 300 м. Преобладающие морфологические типы лавиносборов: желоб, воронка, склон. Максимальные объёмы лавин на о. Сахалин не превышают 30 000 м^3, на Курильских островах – 50 000 м^3. Средние объёмы лавин – 200-1000 м^3. Внешней причиной схода лавин часто является обрушение снежных карнизов.

3. Равнинный класс. Межгорные впадины, предгорные шлейфы, равнины и речные долины. Лавинные геосистемы формируются на склонах речных террас и долин, котловин, дюн, в оврагах и балках и т.д. Абсолютные высоты рельефа – 10-250 м, относительные – 5-120 м. Преобладающий тип лавиносбора: склон. Интенсивность проявления лавинных процессов низкая. Преобладающий морфологический тип лавин: осов. Максимальные объёмы лавин не превышают 1 000 $м^3$, средние – 0,05-0,2 $м^3$.

На о. Сахалине и Курильских островах нами выделены 3 класса, 16 подклассов, 76 типов, 99 подтипов, 114 видов лавинных геосистем (таблица 3, рисунки 1, 2).

Обычно используемая при составлении карт лавинной опасности категория «Степень лавинной опасности» является качественной характеристикой, не позволяющей оценить степень вероятного воздействия лавинного процесса на инженерные сооружения и так далее.

По этой причине в легенде карты «Лавинные геосистемы» приводятся характеристики лавин и лавинного режима, позволяющие количественно оценить интенсивность проявления лавинных процессов на исследуемой территории в разных лавинных геосистемах.

Учитывая тот факт, что на территории низкогорья и среднегорья из-за малой площади и линейных размеров большинство лавиносборов не могут быть показаны в масштабе карты (1:1 000 000), а также для удобства пользования, нагрузка на картах минимальна (рисунки 1, 2).

Систематизация обширного полевого материал о лавинных процессах на о. Сахалине и Курильских островах [Древило, 1988, 1999, 2001; Древило, Казаков, 1997; Казаков и др., 1999; Древило и др., 2001; Казаков, 2000, 2007, 2009а; Боброва, 2009, 2010, 2013, 2014, 2017; Казаков, Генсиоровский, Казакова, 2008; Казакова, 2009, 2010, 2013, 2014, 2016; Рыбальченко, 2009, 2010; Жируев и др., 2010; Окопный, 2011] позволила наполнить легенду карты не только расчётными, но фактическими данными.

Количественные характеристики лавинных геосистем о. Сахалин и Курильских островов, лавинных процессов и их режима приводятся в легенде карты «Лавинные геосистемы о. Сахалин и Курильский островов» (таблица 3).

Таблица 3. Легенда карты «Лавинные геосистемы о. Сахалин и Курильский островов»

Table 3. Legend of the map «Avalanche geosystems of Sakhalin Island and the Kuril Islands»

Легенда карты «Лавинные геосистем

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Рельеф: Геоморфологическая структура	Рельеф: Абсолютная высота, м	Рельеф: Глубина расчленения, м	Характеристика лавиносборов: Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Характеристика лавиносборов: Количество лавиносборов на погонный километр	Характеристика лавиносборов: Средняя площадь, га	Индекс	Осадки и снежный покров климатического района: Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Осадки и снежный покров климатического района: Число дней с устойчивым снежным покровом	Осадки и снежный покров климатического района: Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Индекс	Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин: Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	Макс. сумма осадков, за снегопад	Макс. сумма осадков, за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	Лавинный режим: Лавиноопасный период: Дата схода первой лавины: ранняя	Дата схода первой лавины: средняя	Дата схода последней лавины: поздняя	Дата схода последней лавины: средняя	Продолжительность, сутки: средняя	Продолжительность, сутки: максимальная	Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон: Сп	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
				$I^{А}$	Наиболее высокий, сильно расчлененный горный рельеф с поверхностями выравнивания и крутосклоновое среднегорье с каменистыми вершинами и склонами вулканов	>1000	>700	Долина, воронка	>7,5	20	$I^{А-4}$	309	178	31	63	$I_1^{А-4}$	1300	350	130	36	250	10.10	15.11	05.06	15.05	180	240	1-5	1-3	1-3
											$I^{А-5}$	298	186	77	41	$I_1^{А-5}$	1500	400	150	40	250	05.10	10.11	10.06	20.05	190	250	1-5	1-3	1-3
											$I^{А-9}$	277	161	96	52	$I_1^{А-9}$	1500	350	140	36	250	10.10	15.11	01.06	15.05	180	240	1-5	1-3	1-3
											$I^{А-13}$	952	188	114	89	$I_1^{А-13}$	3400	>400	200	40	400	05.10	05.11	20.06	25.05	200	250	1-5	0,5-1	1-5
											$I^{А-14}$	728	171	74	84	$I_1^{А-14}$	2680	>400	170	36	350	15.10	15.11	05.06	15.05	180	230	1-5	0,5-1	1-5
											$I^{А-15}$	493	133	38	71	$I_1^{А-15}$	1950	400	150	36	300	01.11	01.12	20.05	01.05	150	210	1-5	0,5-1	1-5
				$I^{Б}$	Сильно расчлененный горный рельеф с поверхностями выравнивания Куполообразные экструзивы	800-1200	500-700	Долина, воронка	>7,5	5,0-15,0	$I^{Б-4}$	309	178	31	63	$I_1^{Б-4}$	1100	300	130	33	400	05.11	01.12	15.05	01.05	150	190	1-5	1-2	1-5
																$I_2^{Б-4}$	1000	300	130	30	100	05.11	01.12	15.05	25.04	145	190	1-5	0,5-1	1-5
											$I^{Б-5}$	298	186	77	41	$I_1^{Б-5}$	1300	330	130	36	400	17.10	24.11	28.05	11.05	170	210	1-5	1-3	1-3
											$I^{Б-9}$	279	161	58	50	$I_1^{Б-9}$	1200	310	130	33	400	05.11	01.12	15.05	01.05	150	190	1-5	1-2	1-5
											$I^{Б-12}$	280	154	58	49	$I_1^{Б-12}$	900	300	130	32	400	15.11	05.12	15.05	25.04	140	175	1-3	0,5-1	1-2
				$I^{В}$	Каменистые вершины и склоны вулканов Крутосклоновое низкогорье	500-900	400-700	Долина, воронка	>7,5	2,0-9,0	$I^{В-13}$	952	188	114	89	$I_1^{В-13}$	3150	до 400	190	34	380	15.10	15.11	01.06	15.05	180	230	1-5	0,3-0,5	1-3
											$I^{В-14}$	728	171	74	84	$I_1^{В-14}$	2500	400	160	30	330	25.10	15.11	25.05	01.05	165	210	1-5	0,3-0,5	1-3
											$I^{В-15}$	493	133	38	71	$I_1^{В-15}$	1800	400	140	30	300	15.11	05.12	15.05	25.04	140	175	1-5	0,3-0,5	1-3

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

ы о. Сахалин и Курильский островов»

Индекс	Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования							Характеристика лавин												
	Литолого-стратиграфический комплес снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин				Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. м^3			Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. м^3			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
			Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)		Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$I_{1-1}^{А-4}$	Умеренно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Верещатники, кедровый стланик	40-50	1	0,5	0,4	XII-V	0,2	10	0,5	10	1000	10	5	>50,0	2,2	5	35	3	>2450
$I_{1-1}^{А-5}$	Умеренно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Верещатники, кедровый стланик	40-50	1	0,5	0,4	XII-V	0,2	10	0,5	10	>1500,0 / 1400,0	10	5	100	2,2	5,0*	>40,0 / 40,0	5,5	>4000 / 3800*
$I_{1-1}^{А-9}$	Умеренно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Верещатники, кедровый стланик	40-50	1	0,5	0,4	XII-V	0,2	10	0,5	10	1000	10	5	>50,0	2,2	5	35	3	>2450
$I_{1-1}^{А-13}$	Умеренно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Верещатники	40-50	0,8	0,4	0,2	XI-IV	-	-	-	10	>500,0	10	5	>50,0	3	5	>25,0	7	>4000
$I_{1-1}^{А-14}$	Умеренно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Верещатники	40-50	0,8	0,4	0,2	XII-III	-	-	-	10	>500,0	10	5	>50,0	3	5	>25,0	7	>4000
$I_{1-1}^{А-15}$	Средне перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Верещатники, кедровый стланик	40-50	0,6	0,3	0,1	XII-III	-	-	-	10	>500,0	10	5	>50,0	3	5	>25,0	8	>4000
$I_{1-1}^{Б-4}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу с кедровым стлаником	35	1	0,7	0,6	XII-V	0,7	15	1,6	10	1000	10	5	>50,0	2,2	5	35	5	2450
$I_{2-1}^{Б-4}$	Средне перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье, кедровый стланик	50	0,9	0,3	0,5	XII-IV	0,3	5	1900 12	5	500	10	5	>50,0	1,0	3	10	2,5	
$I_{1-1}^{Б-5}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу с кедровым стлаником	40-45	1	0,8	0,7	XII-V	0,7	15	1,6	10,0 / 5,5*	1500	10,0 / 3,4*	5	100,0*	2,2	5	>40,0	3	>2450
$I_{1-1}^{Б-9}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу с кедровым стлаником	40	1	0,7	0,6	XII-IV	0,7	15	1,6	10	>500,0	10	5	50	1,8	5	35	5	2450
$I_{1-1}^{Б-12}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и бамбук в каменноберезовом лесу	40	1	0,5	0,5	XII-III	0,7	15	1,6	10	>500,0	10	5	100	2,2	5	35	5	2500 *
$I_{1-1}^{В-13}$	Умеренно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Верещатники, кедровый стланик	40-45	0,5	0,4	0,2	XI-III	-	-	-	5,5	>500,0	6	5	>30,0	3,5	5	35	7	2450
$I_{1-1}^{В-14}$	Умеренно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье, кедровый стланик	40-45	0,5	0,4	0,2	XII-III	-	-	-	5,5	>500,0	6	5	>30,0	3,5	5	35	7	
$I_{1-1}^{В-15}$	Умеренно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу с кедровым стлаником	40-45	0,5	0,4	0,2	I-III	-	-	-	5,5	>500,0	6	5	>30,0	3,5	5	35	7	

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
					Рельеф			Характеристика лавиносборов				Осадки и снежный покров климатического района					Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин					Лавинный режим								
																		Макс. сумма осадков,				Лавиноопасный период						Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон		
																						Дата схода				Продолжительность, сутки				
																						первой лавины		последней лавины						
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Геоморфологическая структура	Абсолютная высота, м	Глубина расчленения, м	Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Количество лавиносборов на погонный километр	Средняя площадь, га	Индекс	Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Число дней с устойчивым снежным покровом	Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Индекс	Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	за снегопад	за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	ранняя	средняя	поздняя	средняя	средняя	максимальная	Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
				$I^{Г}$	Горы с поверхностями выравнивания и крутосклонными грядами Массивы отпрепарированных интрузий	400-900	200-500	Воронка	3,0-5,0	2,0-9,0	$I^{Г-4}$	309	178	31	63	$I_1^{Г-4}$	900	250	90	32	300	25.10	01.12	15.05	05.05	155	180	1-3	1-2	1-3
																$I_2^{Г-4}$	500	200	90	28	200	01.11	01.12	05.05	25.04	145	160	1-3	0,5-1	1-2
											$I^{Г-5}$	298	186	77	41	$I_1^{Г-5}$	900	250	90	32	300	21.10	01.12	25.05	09.05	160	200	1-5	1-2	1-3
											$I^{Г-9}$	279	161	58	50	$I_1^{Г-9}$	800	250	90	30	300	25.10	01.12	15.05	05.05	155	180	1-3	0,5-1	1-2
																$I_2^{Г-9}$	500	200	90	28	200	25.10	01.12	15.05	05.05	155	180	1-3	0,5-1	1-2
											$I^{Г-10}$	372	150	53	69	$I_1^{Г-10}$	800	250	90	30	300	05.11	05.12	05.05	01.05	145	155	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Г-12}$	280	154	58	49	$I_1^{Г-12}$	800	250	90	30	300	05.11	05.12	05.05	01.05	145	155	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Д-1}$	281	204	91	-	$I_1^{Д-1}$	800	250	90	30	350	17.10	20.11	21.05	11.05	170	210	1-3	1-2	0,5-1
																$I_2^{Д-1}$	700	200	80	25	150	01.11	20.11	20.05	05.05	170	260	1-5	0,5-1	0,5-1
											$I^{Д-2}$	240	176	36	43	$I_1^{Д-2}$	500	150	60	28	150	05.10	01.12	20.05	05.05	160	200	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Д-4}$	309	178	31	63	$I_1^{Д-4}$	800	150	60	28	250	01.11	05.12	15.05	01.05	145	170	1-3	1-2	1-2
																$I_2^{Д-4}$	750	150	60	26	200	10.11	15.12	10.05	25.04	130	155	1-3	0,5-1	1-2
																$I_3^{Д-4}$	500	200	90	25	150	10.11	15.12	01.05	15.04	120	150	1-3	0,3-0,5	1-2
											$I^{Д-5}$	298	186	77	41	$I_1^{Д-5}$	800	150	60	28	250	01.11	05.12	15.05	01.05	145	180	1-3	1-2	1-2
											$I^{Д-8}$	185	175	58	41	$I_1^{Д-8}$	800	150	60	28	250	05.11	10.12	15.05	01.05	140	175	1-3	1-2	1-2

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования								Характеристика лавин												
Индекс	Литолого-стратиграфический комплес снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин: Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)	Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. м^3			Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. м^3			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
								Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$I^{Г-4}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в смешанном лесу	35-40	1	0,8	0,7	XII-IV	0,7	15	1,6	5	400	3	5	40	2	5	30	6	1740
$I^{Г-4}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик с травостоем	35-40	0,8	0,7	0,8	XII-IV	0,3	5	0,5	5	100	3	3	15	2	5	20	6	
$I^{Г-5}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в смешанном лесу с кедровым стлаником	35-40	1	0,9	0,8	XII-IV	0,7	15	1,6	4,5*	500	3	5	40	2,0 / 1,8*	5	30	6	
$I^{Г-9}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в смешанном лесу с кедровым стлаником	35-40	0,9	0,6	0,7	XII-IV	0,7	15	1,5	5	300	3	5	30	1,5	5	25	7	
$I^{Г-9}_{2-1}$	Умеренно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в редкостойном каменноберезовом лесу с ольхой	45-50	0,9	0,6	0,6	XII-IV	0,5	15	1,5	5	300	3	5	30	2	4,5	25	5	
$I^{Г-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу с кедровым стлаником	35-40	1	0,8	0,8	I-IV	0,7	15	1,5	4,5	300,0 / 150*	2,5	4	30	2	4,5	25	5	
$I^{Г-12}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и бамбук в каменноберезовом лесу	35-40	0,9	0,7	0,5	I-IV	0,7	15	1,5	4,5	300	2,5	4	30	2	4,5	25	5	
$I^{Д-1}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в лиственичных и еловых лесах	40-45	0,8	0,5	0,3	XII-IV	0,5	12	1	4	200	3,5	3	25	2	4	20	3	
$I^{Д-1}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик с редкостойной каменной березой	45-50	0,8	0,5	0,3	XII-IV	0,3	3	0,7	1,5	60	1	3	12	1,5	3,5	20	3	
$I^{Д-2}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в лиственичных и еловых лесах	45-50	1	0,9	0,8	XII-IV	0,3	4,5	0,5	2	60	1,5	3	10	1,5	3	10	2	
$I^{Д-4}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в темнохвойных лесах	40-45	1	0,9	0,8	I-IV	0,7	12	1,5	5,2*	200	3,5	6	30	1,5	4	30	3	
$I^{Д-4}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в темнохвойных лесах	35-40	0,7	0,7	0,5	I-IV	0,7	12	1,5	5	200	3,5	3	20	1,5	4	30	3	
$I^{Д-4}_{3-4}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик с травостоем	45-50	0,7	0,7	0,4	I-IV	0,3	3	0,7	1,5	60	1	3	12	1,5	3,5	20	3	
$I^{Д-5}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в темнохвойных лесах	40-45	1	0,9	0,8	XII-IV	0,7	12	1,5	5,2*	200	3,5	6	30	1,5	4	30	3	
$I^{Д-8}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в темнохвойных лесах	35-40	1	0,8	0,7	I-IV	0,1	3	0,5	1,5	30	1	3	8	1,5	3	10	3	

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
					Рельеф			Характеристика лавиносборов				Осадки и снежный покров климатического района					Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин					Лавинный режим								
																		Макс. сумма осадков,				Лавиноопасный период: Дата схода, первой лавины		Дата схода, последней лавины		Продолжительность, сутки		Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон		
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Геоморфологическая структура	Абсолютная высота, м	Глубина расчленения, м	Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Количество лавиносборов на погонный километр	Средняя площадь, га	Индекс	Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Число дней с устойчивым снежным покровом	Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Индекс	Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	за снегопад	за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	ранняя	средняя	поздняя	средняя	средняя	максимальная	Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
I	Горы	Горный	20-70	$I^{Д}$	Низкие и средневысотные горы сильно расчлененные эрозией и крутосклоновое низкогорье Курильских островов	200-600	200-500	Воронка	2,0-4,0	1,0-3,0	$I^{Д-9}$	279	161	58	50	$I_1^{Д-9}$	750	150	60	26	200	10.11	15.12	10.05	01.05	135	165	1-2	1-2	1-2
																$I_2^{Д-9}$	500	200	90	25	150	10.11	15.12	10.05	25.04	130	155	1-3	0,5-1	0,5-1
											$I^{Д-10}$	279	161	58	50	$I_1^{Д-10}$	700	200	90	25	200	20.11	20.12	05.05	20.04	120	150	1-3	1-2	1-2
																$I_2^{Д-10}$	700	200	90	25	200	20.11	20.12	05.05	15.04	115	145	1-2	1-2	1-2
											$I^{Д-12}$	280	154	58	49	$I_1^{Д-12}$	450	100	80	22	150	20.11	25.12	01.05	10.04	105	130	1-3	1-2	0,5-1
																$I_2^{Д-12}$	500	160	80	22	150	25.11	20.12	01.05	10.04	110	130	1-3	0,5-1	0,5-1
											$I^{Д-13}$	952	188	114	89	$I_1^{Д-13}$	2390	250	160	30	290	25.10	20.11	25.05	05.05	165	195	1-5	0,3-0,5	1-3
											$I^{Д-14}$	728	171	74	84	$I_1^{Д-14}$	1880	250	130	26	240	01.11	05.12	20.05	01.05	145	180	1-5	0,3-0,5	1-3
											$I^{Д-15}$	493	133	38	71	$I_1^{Д-15}$	1350	250	110	24	210	15.11	20.12	05.05	15.04	115	150	1-3	0,2-0,3	1-3
											$I^{Е-13}$	952	188	114	89	$I_1^{Е-13}$	2140	250	160	30	260	25.10	20.11	25.05	05.05	165	195	1-5	0,3-0,5	1-3
											$I^{Е-14}$	728	171	74	84	$I_1^{Е-14}$	1680	250	130	26	210	01.11	10.12	20.05	01.05	140	180	1-5	0,3-0,5	1-3
																$I_2^{Е-14}$	1680	250	130	26	210	01.11	10.12	20.05	01.05	140	180	1-3	0,2-0,3	1-2

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования								Характеристика лавин													
Индекс	Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин				Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. $м^3$			Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. $м^3$			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
			Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)		Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$I^{Д-9}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарник в темнохвойных лесах	35-40	0,9	0,7	0,5	I-IV	0,7	12	1,5	5	200	3,5	3	20	1,5	4	30	3	
$I^{Д-9}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик с травостоем	45-50	0,8	0,7	0,4	I-IV	0,3	3	0,7	1,5	60	1	3	12	1,5	3,5	20	3	1740
$I^{Д-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Бамбук с травостоем в каменноберезовых лесах	40-45	1	0,7	0,7	I-IV	0,3	5	1	2	100	1	3	15	1,5	3,5	25	3	
$I^{Д-10}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в каменно-березовых и широколиственно-хвойных лесах	40-45	1	0,7	0,7	I-IV	0,3	3	0,7	1,5	70	1	3	12	1,5	3	15	2,5	
$I^{Д-12}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в каменноберезовых и широколиственно-хвойных лесах	30-35	0,8	0,7	0,5	I-IV	0,3	3	0,5	1,5	20	1	3	10	1,5	3	10	2	
$I^{Д-12}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу	45-50	0,7	0,6	0,4	I-IV	0,3	3	0,7	1,5	60	1	3	12	1,5	3,5	20	3	
$I^{Д-13}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и ольха с травостоем	40-45	0,6	0,4	0,1	XII-III	-	-	-	5,5	60	5	6	12	2,5	4	12	5	
$I^{Д-14}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и ольха с травостоем (на юге комплекса в каменноберезовом лесу)	40-45	0,6	0,4	0,1	XII-III	-	-	-	4,5	60	5	5	12	2	4	12	5	
$I^{Д-15}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье в каменноберезовом лесу	40-45	0,6	0,4	0,1	I-II	-	-	-	5,5	55	2	6	12	2,5	4	12	4	
$I^{Д-15}_{1-2}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Бамбук и травостой в широколиственно-темнохвойных лесах	40-45	0,6	0,4	0,1	I-II	-	-	-	5,5	55	2	6	12	2,5	4	12	4	
$I^{Д-15}_{1-3}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Бамбук и кедровый стланик в каменноберезовом лесу	40-45	0,6	0,4	0,1	I-II	-	-	-	5,5	55	1,5	6	12	2,5	4	12	3	
$I^{Е-13}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и заросли ольхи,	40-45	0,5	0,4	0,1	XII-III	-	-	-	4,5	30	1	4	10	2	4	10	2	
$I^{Е-14}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и заросли ольхи,	40-45	0,5	0,4	0,1	I-III	-	-	-	4	25	1	4	10	2	4	9	2	
$I^{Е-14}_{2-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Каменноберезовый лес с высокотравьем	40-45	0,5	0,4	0,1	I-III	-	-	-	4	25	1	4	10	2	4	9	2	

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Рельеф			Характеристика лавиносборов			Индекс	Осадки и снежный покров климатического района			Число дней с метелью	Индекс	Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин					Лавинный режим								
					Геоморфологическая структура	Абсолютная высота, м	Глубина расчленения, м	Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Количество лавиносборов на погонный километр	Средняя площадь, га		Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Число дней с устойчивым снежным покровом	Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см			Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	Макс. сумма осадков,		Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	Лавиноопасный период						Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон		
																						Дата схода				Продолжительность, сутки				
																						первой лавины		последней лавины						
																		за снегопад	за сутки			ранняя	средняя	поздняя	средняя	средняя	максимальная	Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
				$I^{Е}$	Пологосклоновое низкогорье Курильских островов	до 500	200-450	Воронка	1,0-3,0	0,8-1,0	$I^{Е-15}$	493	133	38	71	$I_1^{Е-15}$	1200	250	110	26	180	20.11	25.12	01.05	10.04	105	140	1-3	0,2-0,3	1-2
																$I_2^{Е-15}$	1000	250	110	26	170	01.12	05.01	20.04	05.04	90	120	1-3	0,1-0,2	1-2
																$I_3^{Е-15}$	1000	250	110	26	170	25.11	01.01	20.04	05.04	95	125	1-3	0,2-0,3	1-2
																$I_4^{Е-15}$	1000	250	110	26	170	01.12	05.01	15.04	05.04	90	115	1-3	0,1-0,2	1-2
				$I^{Ж}$	Низкое холмогорье и пологосклоновое низкогорье	100-300	50-200	Воронка	1,0-3,0	0,5-1,0	$I^{Ж-2}$	240	176	36	43	$I_1^{Ж-2}$	400	150	60	18	120	10.11	06.12	15.05	25.04	150	190	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Ж-3}$	298	197	60	61	$I_1^{Ж-3}$	400	150	60	18	120	10.11	06.12	15.05	01.05	155	190	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Ж-4}$	309	178	31	63	$I_1^{Ж-4}$	350	180	70	18	180	20.11	10.12	05.05	20.04	120	160	1-2	1-2	0,5-1
																$I_2^{Ж-4}$	250	120	60	18	120	25.11	15.12	01.05	15.04	110	150	1-2	1-3	0,5-1
																$I_3^{Ж-4}$	400	180	80	22	150	01.12	20.12	20.04	05.04	100	130	1-3	0,5-1	0,5-1
											$I^{Ж-5}$	298	186	77	41	$I_1^{Ж-5}$	350	180	70	18	180	20.11	10.12	05.05	20.04	120	160	1-2	1-3	0,5-1
																$I_2^{Ж-5}$	250	120	60	18	120	25.11	15.12	01.05	15.04	110	150	1-2	1-3	0,5-1
											$I^{Ж-8}$	185	175	58	41	$I_1^{Ж-8}$	250	120	60	18	120	25.11	15.12	01.05	15.04	110	150	1-2	1-3	0,5-1

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования								Характеристика лавин												
Индекс	Литолого-стратиграфический комплес снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин				Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. м³			Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. м³			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
			Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)		Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$I_{1-1}^{Е-15}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Высокотравье в каменноберезовом лесу	40-45	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	1	4	12	2	4	12	2	1570
$I_{1-2}^{Е-15}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	40-45	0,5	0,5	0,3	I-II	-	-	-	4,5	50	1	4	12	2	4	12	2	
$I_{1-3}^{Е-15}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Бамбук с кедровым стлаником в широколиственно-хвойных лесах	40-45	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	1	4	12	2	4	12	2	
$I_{1-4}^{Е-15}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Высокотравье и бамбук в каменноберезовом лесу	40-45	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	1	4	12	2	4	12	2	
$I_{2-1}^{Е-15}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Высокотравье в каменноберезовом лесу	40-45	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	30	1	4	10	2	4	10	2	
$I_{3-1}^{Е-15}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Высокотравье в каменноберезовых и темнохвойных лесах	40-45	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	30	1	4	10	2	4	10	2	
$I_{4-1}^{Е-15}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Бамбук и травостой в широколиственно-темнохвойных лесах	40-45	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	30	1	4	10	2	4	10	2	
$I_{1-1}^{Ж-2}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик в лиственичных лесах	40-45	1	0,9	0,8	XII-IV	0,2	1	0,1	0,7	15	0,5	2	6	1	3	4,5	2	700
$I_{1-1}^{Ж-3}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик в лиственичных лесах	35-40	1	0,9	0,8	XII-IV	0,2	1	0,1	0,7	15	0,5	2	6	1	3	4,5	2	
$I_{1-1}^{Ж-4}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в лиственичных лесах	35-40	0,8	0,9	0,7	I-IV	0,2	1	0,1	1	10	0,5	3	8,5	1,5	3,5	5	2	
$I_{2-1}^{Ж-4}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в лиственичных лесах	30-35	1	0,9	0,9	I-III	0,15	0,7	0,05	1	10	0,5	2,5	8,5	1,5	3	4,5	2	
$I_{3-1}^{Ж-4}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в темнохвойных лесах	35-45	0,9	0,7	0,5	I-III	0,3	1,5	0,15	1	10	0,5	2,5	8,5	1	3,5	5	2	
$I_{1-1}^{Ж-5}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	35-40	1	0,9	0,9	I-IV	0,2	1	0,1	1	10	0,5	3	8,5	1,5	3,5	5	2	
$I_{2-1}^{Ж-5}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	30-35	1	0,9	0,9	I-IV	0,15	0,7	0,05	1	10	0,5	2,5	8,5	1,5	3	4,5	2	
$I_{1-1}^{Ж-8}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	35-45	0,9	0,8	0,7	I-IV	0,2	1	0,1	1	10	0,5	2,5	8,5	1	3	4,5	2	

Продолжение таблицы 3
Continue of table 3

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
					Рельеф			Характеристика лавиносборов				Осадки и снежный покров климатического района					Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин					Лавинный режим								
																		Макс. сумма осадков,				Лавиноопасный период						Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон		
																						Дата схода				Продолжительность, сутки				
																						первой лавины		последней лавины						
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Геоморфологическая структура	Абсолютная высота, м	Глубина расчленения, м	Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Количество лавиносборов на погонный километр	Средняя площадь, га	Индекс	Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Число дней с устойчивым снежным покровом	Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Индекс	Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	за снегопад	за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	ранняя	средняя	поздняя	средняя	средняя	максимальная	Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
											$I^{Ж-9}$	279	161	58	50	$I_1^{Ж-9}$	320	180	75	15	150	25.11	15.12	01.05	15.04	110	150	1-2	1-3	0,5-1
																$I_2^{Ж-9}$	400	180	80	22	150	01.12	20.12	20.04	05.04	100	130	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Ж-10}$	279	161	58	50	$I_1^{Ж-10}$	450	200	90	22	200	01.12	20.12	20.04	05.04	100	130	1-3	1-2	0,5-1
											$I^{Ж-12}$	280	154	58	49	$I_1^{Ж-12}$	300	150	65	18	150	01.12	25.12	15.04	25.03	90	120	1-3	1-2	0,5-1
																$I_2^{Ж-12}$	300	150	60	12	150	01.12	25.12	15.04	25.03	90	120	1-3	1-2	0,5-1
				$II^{А}$	Береговые уступы восточного берега о. Сахалин	100-120	40-120	Воронка, желоб, склон	>10	0,1-0,3	$II^{А-9}$	279	161	58	50	$II_1^{А-9}$	350	250	90	13	200	25.11	15.12	20.04	05.04	100	140	1-3	1-2	0,5-1
											$II^{А-10}$	279	161	58	50	$II_1^{А-10}$	350	250	90	13	200	25.11	15.12	20.04	05.04	100	140	0,5-1	0,3-0,5	0,3-0,5
				$II^{Б}$	Береговые уступы восточного берега о. Сахалин	10-30	до 30	Желоб, склон	>10,0	<0,1	$II^{Б-3}$	298	197	60	61	$II_1^{Б-3}$	250	150	70	10	180	01.11	01.12	15.05	01.05	150	180	-	-	-
																$II_2^{Б-3}$	220	150	35	10	140	05.11	05.12	10.05	25.04	140	170	-	-	-
																$II_3^{Б-3}$	200	150	35	10	130	15.11	10.12	10.05	25.04	125	165	-	-	-
											$II^{Б-5}$	298	186	77	41	$II_1^{Б-5}$	350	180	70	18	180	20.11	10.12	05.05	20.04	120	160	0,5-1	0,5-1	0,2-0,3
											$II^{Б-8}$	185	175	58	41	$II_1^{Б-8}$	350	180	70	18	180	20.11	15.12	05.05	20.04	115	150	0,5-1	0,5-1	0,2-0,3
											$II^{Б-9}$	279	161	58	50	$II_1^{Б-9}$	350	250	90	13	200	25.11	15.12	20.04	05.04	100	140	-	-	-
											$II^{Б-10}$	279	161	58	50	$II_1^{Б-10}$	350	250	90	13	200	25.11	15.12	20.04	05.04	100	140	0,5-1	0,3-0,5	0,1-0,2
																$II_2^{Б-10}$	450	150	65	16	200	01.12	01.01	10.04	20.03	80	120	-	-	-
											$II^{Б-12}$	280	154	58	49	$II_1^{Б-12}$	300	120	55	11	150	01.12	20.12	20.04	01.04	100	130	0,5-1	0,2-0,3	0,5-1

Продолжение таблицы 3
Continue of table 3

Индекс	Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования							Характеристика лавин													
	Литолого-стратиграфический комплес снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин				Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. м^3			Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. м^3			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
			Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)		Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$I^{Ж-9}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в темнохвойных лесах	35-45	0,9	0,8	0,6	I-IV	0,2	1	0,1	1	10	0,5	2,5	8,5	1	3	4,5	2	
$I^{Ж-9}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в темнохвойных лесах	35-40	0,8	0,7	0,5	I-IV	0,3	1,5	0,15	1	10	0,5	2,5	8,5	1	3,5	5	2	
$I^{Ж-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в широколиственно-хвойных лесах	35-40	0,8	0,6	0,3	I-III	0,3	1,5	0,15	1	12	0,7	3	9	1,5	3,5	5	2	
$I^{Ж-12}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук на гарях и лесных вырубках	30-35	0,8	0,6	0,3	I-III	0,2	1,2	0,1	1	12	0,7	3	7	1,5	3,5	5	2	
$I^{Ж-12}_{2-1}$	Умеренно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье с бамбуком на гарях и лесных вырубках	30-35	0,8	0,5	0,2	I-III	0,2	1	0,1	1	12	0,7	3	9	1,5	3,5	5	2	
$II^{А-9}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в темнохвойных лесах	35-40	0,8	0,7	0,5	I-IV	0,3	1	0,1	2	10	0,3	3	5	1	3,5	4	1,5	420
$II^{А-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	35-40	0,8	0,7	0,5	I-III	0,1	0,5	0,1	0,1	3	0,3	1	3	0,5	3,5	4	1,5	
$II^{Б-3}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Верещатники в кедровом стланике	Обрушение снежных карнизов																	10
$II^{Б-3}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	Обрушение снежных карнизов																	
$II^{Б-3}_{3-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	Обрушение снежных карнизов																	
$II^{Б-5}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в смешанных и темнохвойных лесах	35-40	1	0,9	0,3	XII-IV	0,05	0,3	0,05	0,1	1	0,1	1	3	1	1,2	2	1	105
$II^{Б-8}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье	35-40	0,9	0,8	0,3	XII-IV	0,05	0,3	0,05	0,1	1	0,1	1	-	1	1,2	2	1	
$II^{Б-9}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье на лугах и в темнохвойных лесах	Обрушение снежных карнизов																	10
$II^{Б-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук на гарях и лесных вырубках	35-40	0,9	0,8	0,3	I-III	0,05	0,1	0,1	0,5	2	0,3	1	2,5	1	1	1,5	1,2	35
$II^{Б-10}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук на гарях и лесных вырубках	Обрушение снежных карнизов																	10
$II^{Б-12}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье, бамбук в широколиственно-темнохвойных лесах	30-35	0,8	0,7	0,1	I-III	0,08	0,3	0,05	1	2	0,3	3	5	1,5	2	3	1	105

Продолжение таблицы 3 Continue of table 3

Класс: Региональные — Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы — Индекс	Рельеф: Геоморфологическая структура	Рельеф: Абсолютная высота, м	Рельеф: Глубина расчленения, м	Характеристика лавиносборов: Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Характеристика лавиносборов: Количество лавиносборов на погонный километр	Характеристика лавиносборов: Средняя площадь, га	Тип: Климатические факторы — Индекс	Осадки и снежный покров климатического района: Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Осадки и снежный покров климатического района: Число дней с устойчивым снежным покровом	Осадки и снежный покров климатического района: Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования — Индекс	Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин: Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	Макс. сумма осадков, за снегопад	Макс. сумма осадков, за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	Лавинный режим: Лавиноопасный период: Дата схода первой лавины: ранняя	Дата схода первой лавины: средняя	Дата схода последней лавины: поздняя	Дата схода последней лавины: средняя	Продолжительность, сутки: средняя	Продолжительность, сутки: максимальная	Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон: Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
II	Береговые уступы	Береговой	5-50	$II^{В}$	Береговые уступы западного берега о. Сахалин	40-120	40-120	Воронка, желоб	>10,0	0,1-0,3	$II^{В-4}$	309	178	31	63	$II_1^{В-4}$	350	150	55	11	200	25.11	15.12	20.04	10.04	105	140	1-3	1-2	0,5-1
																$II_2^{В-4}$	350	150	55	11	200	25.11	15.12	20.04	10.04	105	140	1-3	1-2	0,5-1
											$II^{В-10}$	279	161	58	50	$II_1^{В-10}$	450	200	75	19	200	01.12	25.12	15.04	25.03	90	125	1-5	1-2	1-2
																$II_2^{В-10}$	450	150	65	16	200	01.12	01.01	10.04	20.03	80	120	1-5	1-2	1-2
				$II^{Г}$	Береговые уступы западного берега о. Сахалин	10-30	10-30	Желоб, склон	>10,0	<0,1	$II^{Г-2}$	240	176	36	43	$II_1^{Г-2}$	167	100	70	8	120	25.11	05.12	15.04	25.04	140	160	-	-	-
																$II_2^{Г-2}$	163	100	70	8	60	25.11	10.12	05.04	20.04	130	150	-	-	-
											$II^{Г-4}$	309	178	31	63	$II_1^{Г-4}$	350	150	55	11	200	25.11	15.12	20.04	10.04	105	140	0,5-1	0,1-0,2	0,1-0,2
																$II_2^{Г-4}$	318	150	60	11	200	25.11.	20.12.	20.04.	01.04.	100	130	-	-	-
											$II^{Г-10}$	279	161	58	50	$II_1^{Г-10}$	450	200	75	19	200	01.12	25.12	15.04	25.03	90	125	0,5-1	0,1	0,5-1
				$II^{Д}$	Береговые уступы и вулканические плато Курильских островов	до 300	до 300	Склон, воронка, желоб	>10,0	1	$II^{Д-13}$	1640	188	114	89	$II_1^{Д-13}$	1680	250	160	26	200	19.10	25.11	25.05	05.05	160	170	1-5	0,5-1	1-3
											$II^{Д-14}$	1280	171	74	84	$II_1^{Д-14}$	1280	230	130	24	180	01.11	10.12	20.05	25.04	135	150	1-5	0,5-1	1-3
																$II_2^{Д-14}$	1280	230	130	24	180	25.11	20.12	05.05	10.04	110	135	1-3	0,5-1	0,5-1
											$II^{Д-15}$	900	133	38	71	$II_1^{Д-15}$	900	200	110	20	120	15.12	25.12	15.04	15.03	80	120	1-3	0,2-0,3	0,5-1
																$II_2^{Д-15}$	900	200	110	20	120	15.12	01.01	10.04	10.03	70	110	1-2	0,1-0,2	0,5-1

Продолжение таблицы 3 Continue of table 3

Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования								Характеристика лавин												
Индекс	Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин				Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. м³			Максимальный объем (расчетный/фактический), тыс. м³			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная/фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
			Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)		Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$П^{В-4}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в темнохвойных лесах	40-45	0,8	0,7	0,3	XII-IV	0,1	0,5	0,05	0,3	1	0,1	2,5	3	0,8	3	3	1	
$П^{В-4}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в темнохвойных лесах	40-45	0,8	0,7	0,2	XII-IV	0,1	0,5	0,05	0,3	1	0,1	2,5	3	0,8	3	3	1	350
$П^{В-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье лугов и бамбук	30-35	0,8	0,7	0,2	I-IV	0,3	1	0,1	3	20	1	5	10	1,8	4	5	1	
$П^{В-10}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье, бамбук в широколиственно-темнохвойных лесах	30-35	0,8	0,7	0,1	I-IV	0,1	0,3	0,05	5	30,0 / 18,0*	1	5	20,0 / 15,0*	1,8	2	3	1	350 / 350*
$П^{Г-2}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик с верещатниками	Обрушение снежных карнизов																	10
$П^{Г-2}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	Обрушение снежных карнизов																	
$П^{Г-4}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	30-35	0,9	0,8	0,4	I-IV	0,05	0,1	0,05	0,3	1	0,1	2,5	5	<1,0	1	1,5	1,2	50
$П^{Г-4}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	Обрушение снежных карнизов																	10
$П^{Г-10}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье, бамбук в широколиственно-темнохвойных лесах	30-35	0,8	0,7	0,2	I-III	0,3	1	0,1	2	5	0,5	5	10	1,8	4	5	1	105
$П^{Д-13}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и ольха с травостоем	30-35	0,5	0,4	0,2	XII-II	-	-	-	5,5	50	1	5	12	1,5	5	12	3	
$П^{Д-14}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик и ольха с травостоем	30-35	0,6	0,4	0,2	I-II	-	-	-	4,5	50	1	5	12	1,5	4	12	3	
$П^{Д-14}_{2-1}$	Умеренно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Высокотравье в каменноберезовом лесу	30-35	0,6	0,4	0,2	I-II	-	-	-	4,5	50	1	5	12	1,5	4	12	3	
$П^{Д-15}_{1-1}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Высокотравье в каменноберезовом лесу	30-35	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	0,7	5	12	1,5	4	12	2,5	
$П^{Д-15}_{1-2}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье в темнохвойных лесах	30-35	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	0,7	5	12	1,5	4	12	2,5	1050
$П^{Д-15}_{1-3}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Бамбук и кедровый стланик в широколиственно-хвойных лесах	30-35	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	0,7	5	12	1,5	4	12	2,5	
$П^{Д-15}_{1-4}$	Умеренно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в широколиственно-темнохвойных лесах	30-35	0,5	0,4	0,1	I-II	-	-	-	4,5	50	0,7	5	12	1,5	4	12	2,5	
$П^{Д-15}_{2-1}$	Слабо перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье на лугах	30-35	0,4	0,2	0,1	I-II	-	-	-	3	10	1	5	10	1,5	3	4	3	

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
					Рельеф			Характеристика лавиносборов				Осадки и снежный покров климатического района					Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин					Лавинный режим								
																		Макс. сумма осадков,				Лавиноопасный период						Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон		
																						Дата схода				Продолжительность, сутки				
																						первой лавины		последней лавины						
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Геоморфологическая структура	Абсолютная высота, м	Глубина расчленения, м	Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Количество лавиносборов на погонный километр	Средняя площадь, га	Индекс	Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Число дней с устойчивым снежным покровом	Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Индекс	Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	за снегопад	за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	ранняя	средняя	поздняя	средняя	средняя	максимальная	Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
				$II^{Е}$	Береговые уступы Курильских островов	10-50	до 50	Склон, желоб	>10,0	0,1-0,4	$II^{Е-13}$	952	188	114	89	$II_1^{Е-13}$	1140	200	140	20	140	01.11	01.12	22.05	01.05	150	170	1-5	0,5-1	0,5-1
											$II^{Е-14}$	728	171	74	84	$II_1^{Е-14}$	880	180	120	18	90	05.11	15.12	10.05	15.04	120	155	1-5	0,5-1	0,5-1
											$II^{Е-15}$	493	133	38	71	$II_1^{Е-15}$	600	160	100	16	60	15.12	01.01	15.04	10.03	70	110	1-3	0,2-0,3	0,5-1
																$II_2^{Е-15}$	400	160	100	16	60	15.12	01.01	15.04	10.03	70	110	1-3	0,1-0,2	0,5-1
				$III^{А}$	Межгорные тектонические впадины и холмисто-волнистые предгорные равнины с пологими склонами	<250	30-120	Склон	1,0-2,0	0,1-0,2	$III^{А-1}$	281**	204	91	-	$III_1^{А-1}$	650	230	80	18	200	01.11	01.12	11.05	01.05	150	180	1-3	0,5-1	1-2
											$III^{А-2}$	240	176	36	43	$III_1^{А-2}$	350	150	60	16	150	20.11	05.12	05.05	20.04	110	140	1-3	0,5-1	1-2
											$III^{А-3}$	298	197	60	61	$III_1^{А-3}$	350	150	60	16	150	20.11	05.12	05.05	20.04	110	150	1-3	0,5-1	1-2
											$III^{А-4}$	309	178	31	63	$III_1^{А-4}$	250	120	60	12	130	01.12	10.12	25.04	10.04	105	135	1-3	1-2	1-2
																$III_2^{А-4}$	450	230	85	19	150	01.12	15.12	25.04	15.04	105	140	1-2	0,5-1	1-2
											$III^{А-5}$	298	186	77	41	$III_1^{А-5}$	300	230	85	16	160	20.11	05.12	05.05	20.04	120	150	1-3	1-2	1-2
											$III^{А-10}$	279	161	58	50	$III_1^{А-10}$	450	230	85	19	150	01.12	15.12	25.04	15.04	105	140	1-2	0,2-0,3	1-2
											$III^{А-12}$	280	154	58	49	$III_1^{А-12}$	300	120	55	11	150	01.12	20.12	20.04	01.04	100	130	1-2	0,2-0,3	1-2
											$III^{Б-1}$	281**	204	91	-	$III_1^{Б-1}$	300	200	66	10	120	25.10	25.11	15.05	06.05	160	180	1-3	0,5-1	0,5-1
	а	ый									$III^{Б-2}$	240	176	36	43	$III_1^{Б-2}$	167	150	70	8	120	10.11	01.12	15.05	25.04	145	160	1-3	0,5-1	0,5-1

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Вид: Литологические и геоботанические факторы лавинообразования								Характеристика лавин												
Индекс	Литолого-стратиграфический комплес снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин				Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Средний объем, тыс. м^3			Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. м^3			Максимальная высота фронта лавины, м			Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м			Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
			Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{вр}$)	Коэффициент текстуры ($К_т$)		Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	Сн	Э П	См	
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
II^{E-13}_{1-1}	Слабо перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье, кедровый стланик и ольха	30-35	0,4	0,2	0,1	I-II	-	-	-	0,5	5	0,5	3	7	1	2,5	3	1,2	175
II^{E-14}_{1-1}	Слабо перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье, кедровый стланик и ольха	30-35	0,4	0,2	0,1	I-II	-	-	-	0,5	5	0,5	3	7	1	2,5	3	1,2	
II^{E-15}_{1-1}	Слабо перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Высокотравье в каменноберезовом лесу	30-35	0,4	0,2	0,1	II	-	-	-	0,3	5	0,5	2,5	7	1	2,5	3	1,2	
II^{E-15}_{2-1}	Слабо перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук по ольхе и кедровому стланику	30-35	0,4	0,2	0,1	II	-	-	-	0,3	5	0,5	2,5	7	1	2,5	3	1,2	
III^{A-1}_{1-1}	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	40-45	1	0,9	0,7	XII-IV	0,1	0,5	0,05	0,5	2,5	0,5	2,5	4	1	3	3	1,2	420
III^{A-2}_{1-1}	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	40-45	1	0,9	0,7	XII-IV	0,1	0,4	0,05	0,5	2,5	0,5	2	4	1	2,5	2,5	1,2	
III^{A-3}_{1-1}	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	40-45	0,9	0,8	0,6	XII-IV	0,1	0,4	0,05	0,5	2,5	0,5	2	4	1	2,5	2,5	1,2	
III^{A-4}_{1-1}	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	35-40	1	0,9	0,8	XII-IV	0,07	0,4	0,05	0,5	2	0,5	2	3	1	3	3	1,2	
III^{A-4}_{2-1}	Сильно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук на лесных вырубках и гарях	40-45	0,8	0,7	0,2	XII-IV	0,2	0,5	0,15	0,5	2	0,5	2	3	1	3	3	1,2	
III^{A-5}_{1-1}	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье светло- и темнохвойных лесов	30-35	1	0,8	0,7	I-IV	0,1	0,5	0,05	0,5	2	0,5	2	4	1	3	3	1,2,	
III^{A-10}_{1-1}	Сильно перекристаллизованная средне разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук на лесных вырубках и гарях	40-45	0,8	0,7	0,2	I-IV	0,2	0,5	0,15	0,5	2	0,5	2	3	1	3	3	1,2	
III^{A-12}_{1-1}	Сильнло перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук на лесных вырубках и гарях	35-40	0,8	0,7	0,3	I-III	0,15	0,4	0,1	0,5	2	0,5	2	3	1	2,5	2,5	1	
$III^{Б-1}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в лиственичных лесах	30-35	1	0,8	0,7	XII-IV	-	-	-	0,1	1	0,05	1,5	2,5	<1,0	1,5	2,5	<1,0	
$III^{Б-2}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	30-35	1	0,9	0,7	XII-IV	-	-	-	0,1	0,5	0,05	1,5	2	<1,0	1,5	2	<1,0	

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

Класс: Региональные				Подкласс: Геологические и геоморфологические факторы							Тип: Климатические факторы					Подтип: Метеорологические факторы лавинообразования														
Индекс	Макроструктура рельефа	Тип лавинного процесса	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %%	Индекс	Рельеф: Геоморфологическая структура	Рельеф: Абсолютная высота, м	Рельеф: Глубина расчленения, м	Характеристика лавиносборов: Преобладающий морфологический тип лавиносборов по [Северский, Благовещенский, 1983]	Характеристика лавиносборов: Количество лавиносборов на погонный километр	Характеристика лавиносборов: Средняя площадь, га	Индекс	Осадки и снежный покров климатического района: Сумма осадков (твердые и смешанные) за сезон (**твердые осадки за период XI-IV), мм	Осадки и снежный покров климатического района: Число дней с устойчивым снежным покровом	Осадки и снежный покров климатического района: Наибольшая декадная высота снежного покрова по постоянной рейке, см	Число дней с метелью	Индекс	Осадки и снежный покров на стадии седиментации в зоне зарождения лавин: Максимальная сумма твердых осадков за сезон, мм	Макс. сумма осадков, за снегопад	Макс. сумма осадков, за сутки	Число снегопадов за сезон (>10 мм осадков)	Максимальная толщина снежного покрова, см	Лавинный режим: Лавиноопасный период: Дата схода первой лавины: ранняя	Дата схода первой лавины: средняя	Дата схода последней лавины: поздняя	Дата схода последней лавины: средняя	Продолжительность, сутки: средняя	Продолжительность, сутки: максимальная	Среднее число лавин различных генетических типов из 1 лавиносбора за сезон: Сн	Э П	См
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
III	Равнин	Равнин	<10	$III^{Б}$	Равнины Северного Сахалина	<150	10-70	Склон	0,5-1,0	<0,1	$III^{Б-3}$	298	197	60	61	$III_1^{Б-3}$	250	150	80	10	180	25.10	25.11	15.05	06.05	160	175	1-3	0,5-1	0,5-1
																$III_2^{Б-3}$	220	150	35	10	140	01.11	01.12	15.05	01.05	150	175	1-3	0,5-1	0,5-1
																$III_3^{Б-3}$	200	150	35	10	130	05.11	05.12	10.05	25.04	140	170	1-3	0,5-1	0,5-1
																$III_4^{Б-3}$	250	120	60	12	150	05.11	01.12	15.05	01.05	150	165	1-3	0,5-1	0,5-1
											$III^{Б-4}$	298	186	77	41	$III_1^{Б-4}$	250	120	60	12	150	05.11	01.12	15.05	01.05	150	165	1-3	0,5-1	0,5-1
											$III^{Б-4}$	298	186	77	41	$III_1^{Б-5}$	250	120	60	12	150	05.11	01.12	15.05	01.05	150	165	1-3	0,5-1	0,5-1
				$III^{В}$	Холмисто-волнистые предгорные равнины и шлейфы, низменности и долины равнинных рек Среднего и Южного Сахалина и Южных Курильских островов	<250	5-50	Склон	0,1-0,5	<0,1	$III^{В-1}$	369	193	104	25	$III_1^{В-1}$	320	120	45	12	160	10.11	01.12	01.05	20.04	140	160	1-3	0,5-1	0,5-1
											$III^{В-2}$	280	184	48	25	$III_1^{В-2}$	200	80	45	9	115	15.11	01.12	20.04	10.04	130	150	0,5-1	0,2-0,3	0,5-1
											$III^{В-3}$	280	154	58	49	$III_1^{В-3}$	300	120	55	11	150	01.12	20.12	20.04	01.04	100	120	0,5-1	0,1-0,2	0,5-1
											$III^{В-4}$	280	154	58	49	$III_1^{В-4}$	300	120	55	11	150	01.12	20.12	20.04	01.04	100	120	0,5-1	0,1-0,2	0,5-1

Генетический класс лавин:

Сн – сингенетические лавины нового снега (свежевыпавшего и метелевого) – образуются из сухого снега при его быстром накоплении за счет большой скорости прироста массы снега во время

См – сингенетические лавины мокрого снега (инсоляционные и адвекционны) – образуются при ослаблении связей между кристаллами снега в верхней части снежной толщи результате воздей

Э – эпигенетические лавины перекристаллизованного снега - образуются из сухого снега старого снега, в котором вследствие процессов метаморфизма произошли преобразования структуры и

П – полигенетические лавины – образуются из смешанного снега (сухого старого и нового снега; сухого и влажного снега; сухого и мокрого снега), в котором вследствие процессов метаморфизма произош

оттепели и антропогенные причины; обладают наибольшими скоростями, объемом и разрушительной силой и наиболее опасны для объектов капитального строительства.

Продолжение таблицы 3

Continue of table 3

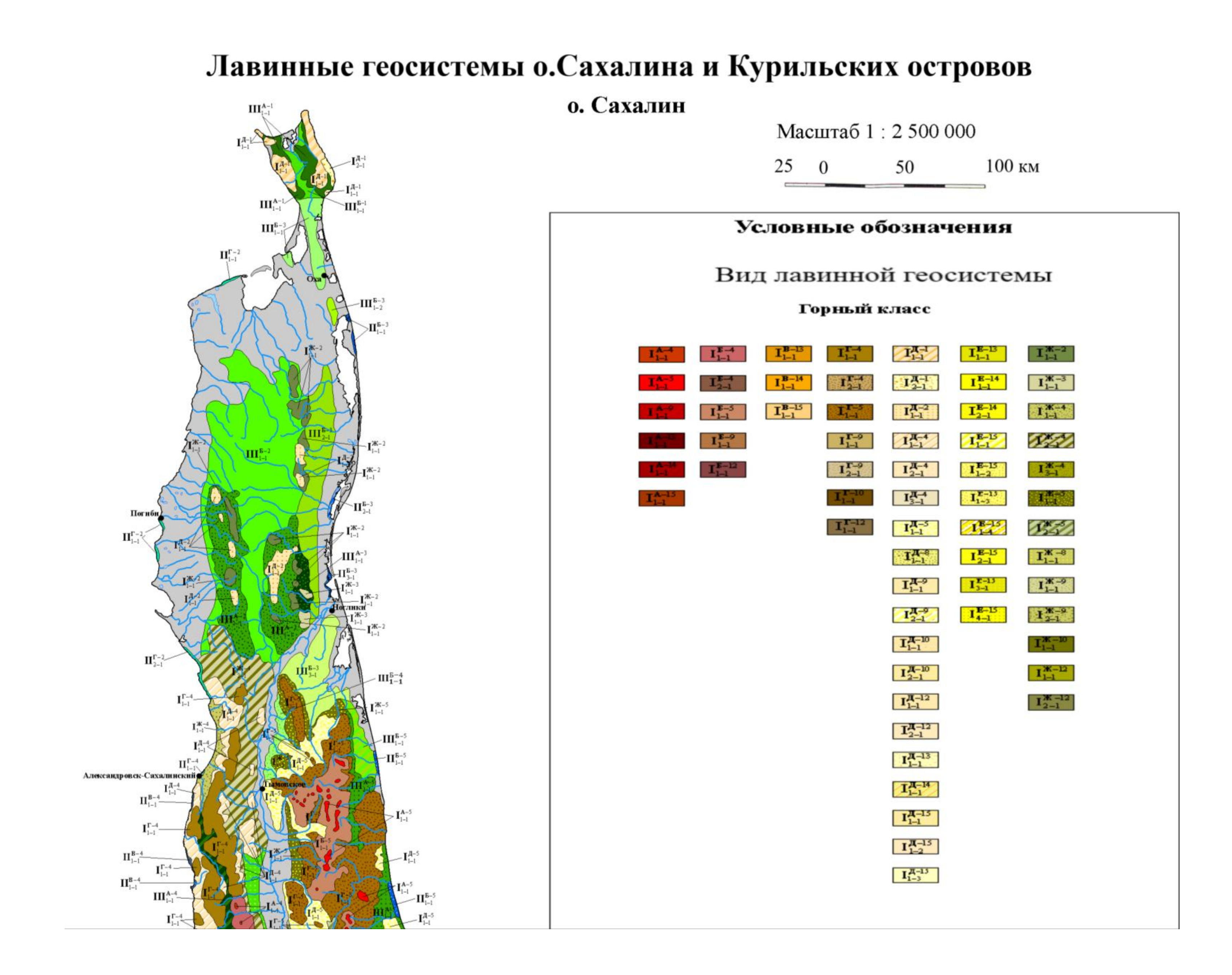
Индекс	Литолого-стратиграфический комплес снежного покрова	Растительность в зоне зарождения лавин	Характеристика снежной толщи на стадии диагенеза в зоне зарождения лавин: Продолжительность формирования лавиноопасного слоя, сутки	Коэффициент перекристаллизации снежной толщи (КП)	Коэффициент вторичного расслоения снежной толщи ($К_{ВР}$)	Коэффициент текстуры ($К_Т$)	Период формирования лавин класса перекристаллизации снежной толщи, месяц	Характеристика лавин: Средний объем, тыс. м³: Сн	Э П	См	Максимальный объем (расчетный фактический), тыс. м³: Сн	Э П	См	Максимальная высота фронта лавины, м: Сн	Э П	См	Максимальная толщина отложений (расчетная фактическая), м: Сн	Э П	См	Максимальная дальность выброса лавин (расчетная/фактическая *), м
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
$Ш^{Б-3}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Кедровый стланик с травостоем в лиственичных лесах	30-35	1	0,9	0,7	XII-IV	-	-	-	0,1	0,5	0,05	1,5	2	<1,0	1,5	2	<1,0	245
$Ш^{Б-3}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье в елово-пихтовых лесах	30-35	1	0,9	0,7	XII-IV	-	-	-	0,3	1	0,1	2	2,5	<1,0	2	2,5	1	
$Ш^{Б-3}_{2-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	35-40	1	0,9	0,7	XII-IV	-	-	-	0,3	1	0,1	2	2,5	<1,0	2	2,5	1	
$Ш^{Б-3}_{3-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	35-40	1	0,9	0,7	XII-IV	-	-	-	0,1	0,5	0,05	1,5	2	<1,0	1,5	2	<1,0	
$Ш^{Б-3}_{4-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье смешанных лесов	35-40	0,9	0,8	0,5	XII-IV	-	-	-	0,3	1	0,1	2	2,5	<1,0	2	2,5	1	
$Ш^{Б-4}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	35-40	0,9	0,8	0,5	XII-IV	-	-	-	0,3	1	0,1	2	2,5	<1,0	2	2,5	1	
$Ш^{Б-5}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье смешанных лесов	35-40	0,9	0,8	0,5	XII-IV	0,025	0,1	0,025	0,3	1	0,1	2	2,5	<1,0	2	2,5	1	50
$Ш^{В-1}_{1=1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье смешанных лесов	35-40	0,9	0,7	0,5	XII-IV	-	-	-	0,1	0,3	0,05	1,5	2	<1,0	1,5	3	1	175
$Ш^{В-2}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и кустарнички в лиственичных лесах	35-40	1	0,9	0,7	XII-IV	-	-	-	0,05	0,2	0,03	1,2	1,5	<1,0	<1,0	2,5	<1,0	
$Ш^{В-3}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща	Разнотравье и бамбук в елово-пихтовых лесах	40-45	0,8	0,6	0,3	I-III	0,025	0,1	0,025	0,1	0,3	0,05	1,5	2,5	<1,0	1,5	3	1	
$Ш^{В-4}_{1-1}$	Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща	Разнотравье смешанных лесов	40-45	0,8	0,6	0,3	I-III	0,025	0,1	0,025	0,1	0,3	0,05	1,5	2,5	<1,0	1,5	3	1	50

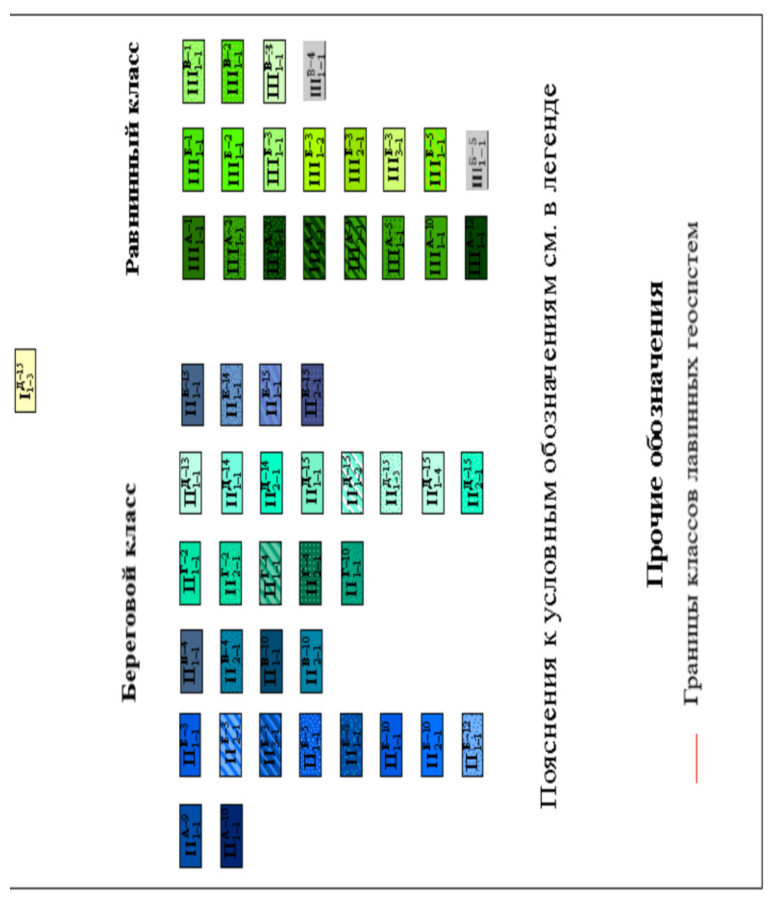
снегопада или метели при незначительном пределе прочности на сдвиг в основании свежеотложенного снега; как правило, движутся по слою старого снега.

ствия на снежный покров солнечной радиации и (или) адвективных масс воздуха в период весеннего снеготаяния или при оттепели.

текстуры снежных слоёв и сформировались лавиноопасные слои; обладают наибольшими скоростями, объемом и разрушительной силой и наиболее опасны для объектов капитального строительства.

и преобразования структуры и текстуры снежных слоёв и сформировались лавиноопасные слои; формируются под воздействием дополнительных причин, в роли которых выступают снегопады, метели,


Лавинные геосистемы о.Сахалина и Курильских островов
о. Сахалин
Масштаб 1 : 2 500 000
25 0 50 100 км
Условные обозначения
Вид лавинной геосистемы
Горный класс
Оха
Погиби
Ноглики
Тымовское
Александровск-Сахалинский





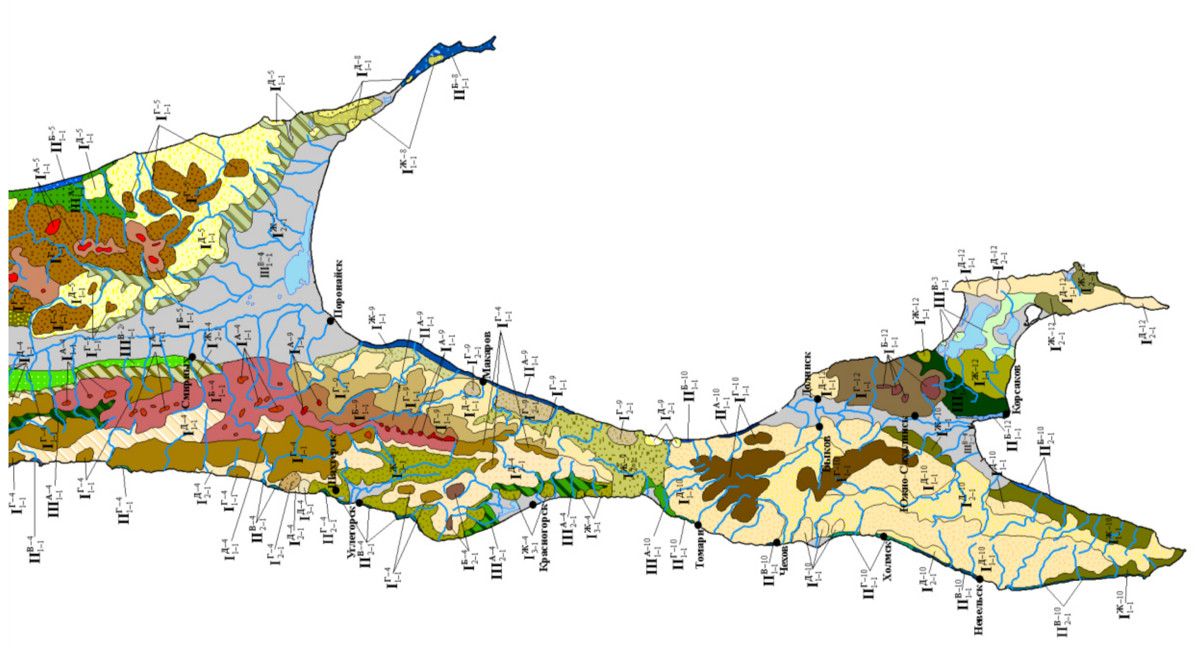
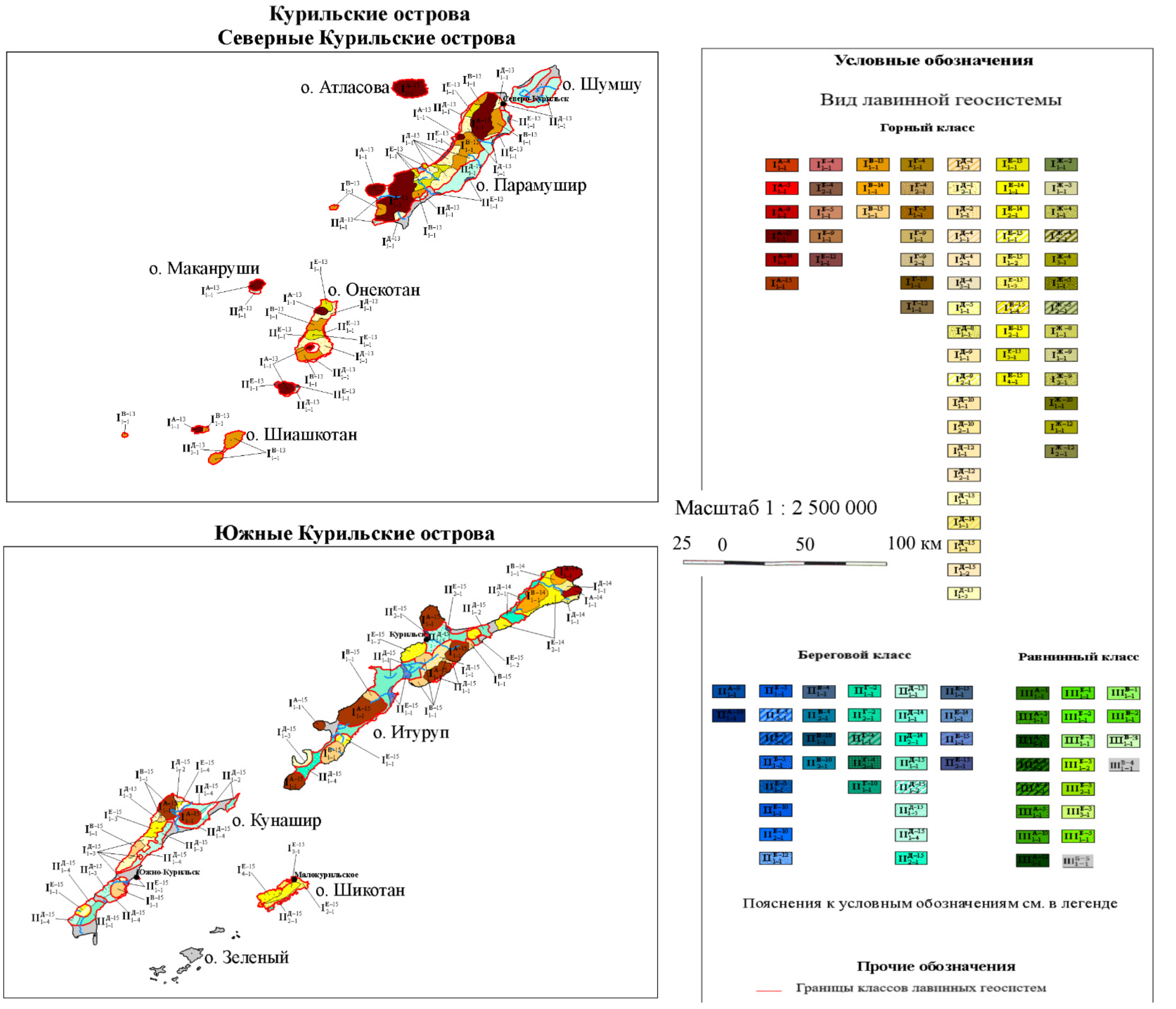
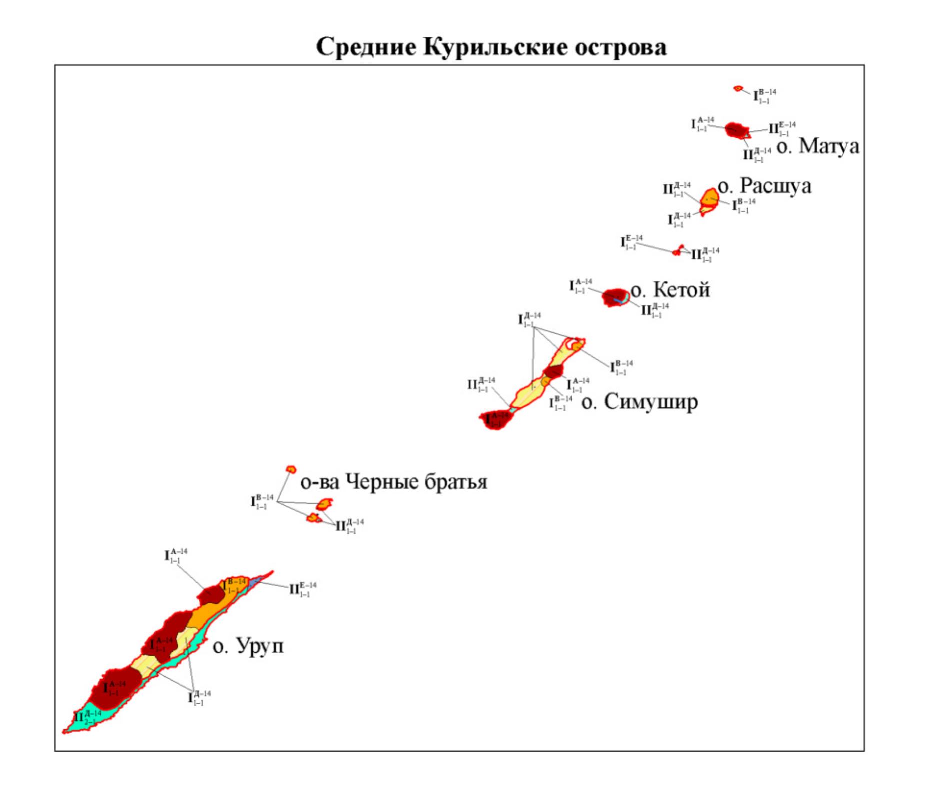


Рисунок 1. Карта «Лавинные геосистемы о. Сахалин и Курильских островов». о. Сахалин
Figure 1. The map «Avalanche geosystems of Sakhalin Island and the Kuril Islands». Sakhalin Island


Лавинные геосистемы о.Сахалина и Курильских островов
Курильские острова
Северные Курильские острова
о. Атласова
о. Шумшу
Северо-Курильск
о. Парамушир
о. Маканруши
о. Онекотан
о. Шиашкотан
Южные Курильские острова
Курильск
о. Итуруп
о. Кунашир
Южно-Курильск
Малокурильское
о. Шикотан
о. Зеленый
Условные обозначения
Вид лавинной геосистемы
Горный класс
Масштаб 1 : 2 500 000
25 0 50 100 км
Береговой класс
Равнинный класс
Пояснения к условным обозначениям см. в легенде
Прочие обозначения
Границы классов лавинных геосистем



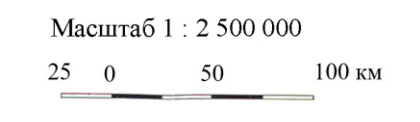


Рисунок 2. Карта «Лавинные геосистемы о. Сахалин и Курильских островов». Курильские острова

Figure 2. The map «Avalanche geosystems of Sakhalin Island and the Kuril Islands». Kuril Islands

Выводы

1. Разработанная таксономическая шкала классификации лавинных геосистем и алгоритм расчёта количественных характеристик лавинных процессов и их режима позволяют оценить интенсивность проявления лавинных процессов на неизученной или малоизученной территории на основе анализа геоморфологической, геологической, ландшафтной и климатической характеристики территории.

2. Построенная на основе разработанной методики карта лавинных геосистем о. Сахалин и Курильских островов в масштабе 1: 1 000 000 содержит наиболее полные на сегодняшний день сведения о лавинных процессах и об их режиме на исследуемой территории.

3. Предлагаемые методологические принципы построения мелко- и среднемасштабных карт лавинных геосистем для неизученных и малоизученных территорий позволяют разрабатывать содержание карт для оценки лавинной опасности как для решения научных задач, так и для использования на ранних стадиях проектно-изыскательских работ. Использование полученных таким путём характеристик лавинных процессов позволяет оценить вероятную степень их воздействия на объекты и сооружения в зависимости от их категории и режима эксплуатации. Полученные оценки дают возможность уже на ранних стадиях проектирования определять необходимость проведения и объём изыскательских работ, а также объём необходимых затрат на изыскания и вероятных затрат на разработку и проведение защитных мероприятий.

Литература	**References**
Александров С.М. Остров Сахалин. М.: Наука, 1973. 183 с.	Aleksandrov S.M. *Ostrov Sakhalin [Sakhalin Island]*. Moscow, Publ. Nauka, 1973. 183 p. (In Russian).
Атлас Сахалинской области / Гл. ред. Г.В. Комсомольский и И.М. Сирык. М.: ГУГК, 1967. 135 с.	*Atlas Sakhalinskoi oblasti [Atlas of the Sakhalin Region]*. Komsomol'skii G.V., Siryk I.M. (eds.). Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1967. 135 p. (In Russian).
Атлас снежно-ледовых ресурсов мира в 2-х т. Том 2: в 2-х кн.	*Atlas snezhno-ledovykh resursov mira v 2 t. Tom 2: v 2 kn. Kniga 1 [World Atlas of Snow and Ice Resources in 2 volumes. Volume 2: in 2 books. Book 1]*. Kotlyakov V.M. (ed.).

Книга 1. / Гл. ред. В.М. Котляков. М.: ГУГК, 1998. 264 с. Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1998. 264 p. (In Russian).

Боброва Д.А. Зависимость дальности выброса лавин на о. Сахалин от морфологии и морфометрии лавиносбора в условиях Сахалина // Георискс. 2009. № 4. С. 14-17

Bobrova D.A. Zavisimost' dal'nosti vybrosa lavin na o. Sakhalin ot morfologii i morfometrii lavinosbora v usloviyakh Sakhalina [Dependence of the range of avalanches on Sakhalin Island from the morphology and morphometry of avalanche collection in Sakhalin]. *Georisk [Georisk]*, 2009, no. 4, pp. 14-17. (In Russian; abstract in English).

Боброва Д.А. Построение карт лавинной опасности территорий населённых пунктов Сахалинской области // Георискс. 2010. №4. С. 38-41

Bobrova D.A. Postroenie kart lavinnoi opasnosti territorii naselennykh punktov Sakhalinskoi oblasti [Mapping avalanche hazard of the Sakhalin Region settlement areas]. *Georisk [Georisk]*, 2010, no. 4, pp. 38-41. (In Russian; abstract in English).

Боброва Д.А. Лавинная опасность равнинных территорий о. Сахалин // Лёд и снег. 2013. Том 53. № 4. С. 60-66. DOI: 10.15356/2076-6734-2013-4-60-66

Bobrova D.A. Lavinnaya opasnost' ravninnykh territorii o. Sakhalin [Avalanche hazard in plain area of Sakhalin Island]. *Led i sneg [Ice and snow (Russia)],* 2013, vol. 53, no. 4, pp. 60-66. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.15356/2076-6734-2013-4-60-66

Боброва Д.А. Оценка лавинной опасности на равнинных территориях о. Сахалин: Автореф. дисс. … канд. геогр. наук. Хабаровск, 2014, 24 с.

Bobrova D.A. *Otsenka lavinnoi opasnosti na ravninnykh territoriyakh o. Sakhalin. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk [Avalanche hazard assessment in the lowlands of Sakhalin Island. Ph. D. (Geography) Thesis]*. Khabarovsk, 2014. 24 p. (In Russian).

Боброва Д.А. Построение карты природных лавинных комплексов для равнинных территорий (на примере острова Сахалин) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2017. № 4. С. 141-146.

Bobrova D.A. Postroenie karty prirodnykh lavinnykh kompleksov dlya ravninnykh territorii (na primere ostrova Sakhalin) [The mapping of natural avalanche complexes for plains (on the example of the Sakhalin Island)]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk [Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 2017, no. 4, pp. 141-146. (In Russian; abstract in English).

Володичева Н.А. Характеристика лавинной опасности Курильских островов // Лавины Сахалина и Курильских островов / Под ред. К.Ф. Войтковского, В.Е. Барабаша. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. С. 26-39.

География лавин / Под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М.: МГУ, 1992. 330 с.

Геология СССР: в 48 т. Т. 33. Остров Сахалин: геологическое описание / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1970. 432 с.

Гиг Дж., ван Прикладная общая теория систем. Книги 1-2 / Пер. с англ. под ред. Б.Г. Сушкова, В.С. Тюхтина. М.: Мир, 1981.

Дзюба В.В. Географические принципы разработки методик прогноза лавиноопасных периодов для малоисследованных районов: Автореф. дисс. … канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1983. 23 с.

Древило М.С. О классификациях отложенного снега. Южно-Сахалинск: Изд-во Сахалинского УГМС, 1981. 24 с.

Древило М.С. Структура снежного покрова о. Сахалин (подзона

Chereshkin D.S., Kononov A.A., Tishchenko D.V. Printsipy taksonomii ugroz bezopasnosti informatsionnykh sistem [Principles of taxonomy of security threats to information systems]. *Vestnik Rossiiskogo fonda fundamental'nykh issledovanii [Bulletin of the Russian Foundation for Basic Research]*, 1999, no. 3(17), pp. 68-72. (In Russian).

Drevilo M.S. *O klassifikatsiyakh otlozhennogo snega [On classifications of deposited snow]*. Yuzhno-Sakhalinsk: Publ. of Sakhalinskogo UGMS, 1981. 24 p. (In Russian).

Drevilo M.S. Struktura snezhnogo pokrova o. Sakhalin (podzona srednei svetlokhvoinoi taigi) [The structure of the snow cover about. Sakhalin (subzone of medium light coniferous taiga)]. *Trudy Gidromettsentra Sakhalinskogo UGMS. Regional'nye issledovaniya. [Proceedings of the Hydrometeorological Center of the Sakhalin UGMS. Regional studies]*. Yuzhno-Sakhalinsk, 1988, pp. 124-127. (In Russian).

Drevilo (Varganova) M.S. Struktura snezhnogo pokrova v zonakh lavinoobrazovaniya o. Sakhalin [Snow cover structure in the avalanche zones of Sakhalin Island]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii [Data of glaciological studies]*, 2000, publ. 88, pp. 107-112. (In Russian; abstract in English).

Drevilo M.S. *Geoekologicheskie issledovaniya snezhnogo pokrova na osnove ego landshaftno-indikatsionnykh svoistv: na primere o. Sakhalin. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk [Geoecological studies of the snow cover on the basis of its landscape-indicating properties: on the example of Sakhalin Island. Ph. D. (Geography) Thesis*]. Barnaul, IViEP SO RAN, 2001. 27 p. (In Russian).

средней светлохвойной тайги) // Труды Гидрометцентра Сахалинского УГМС. Региональные исследования. Южно-Сахалинск, 1988. С. 124-127.

Древило (Варганова) М.С. Структура снежного покрова в зонах лавинообразования о. Сахалин // Материалы гляциологических исследований. 2000. Вып. 88. С. 107-112

Древило М.С. Геоэкологические исследования снежного покрова на основе его ландшафтно-индикационных свойств: На примере о. Сахалин: Автореф. дисс. … канд. геогр. наук. Барнаул, ИВиЭП СО РАН, 2001. 27 с.

Древило (Варганова) М.С., Жируев С.П., Окопный В.И., Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Мониторинг снежного покрова о. Сахалин // Материалы гляциологических исследований. 2000. Вып. 89. С. 89-94.

Древило М.С., Казаков Н.А. К вопросу о современном состоянии оценки степени лавинной опасности Курильских островов // Тезисы докладов научно-практической конференции, посвящённой 300-летию освоения Курильских

Drevilo M.S., Kazakov N.A. K voprosu o sovremennom sostoyanii otsenki stepeni lavinnoi opasnosti Kuril'skikh ostrovov [On the current state of assessing the degree of avalanche hazard of the Kuril Islands]. *Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvya-shchennoi 300-letiyu osvoeniya Kuril'skikh ostrovov russkimi lyud'mi «Kuril'skie ostrova: istoriya, sovremennost', perspektivy» (g. Yuzhno-Sakhalinsk, 16-17 dekabrya 1997 g.) [Abstracts of the scientific-practical conference dedicated to the 300th anniversary of the development of the Kuril Islands by Russian people "Kuril Islands: history, modernity, prospects" (Yuzhno-Sakhalinsk, December 16-17, 1997)]*. Yuzhno-Sakhalinsk, 1997, vol. 2, pp. 91-92. (In Russian).

Drevilo (Varganova) M.S., Zhiruev S.P., Okopnyi V.I., Kazakov N.A., Gensiorovskii Yu.V. Monitoring snezhnogo pokrova o. Sakhalin [Snow cover monitoring of Sakhalin Island]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii [Data of glaciological studies]*, 2000, publ. 89, pp. 89-94. (In Russian; abstract in English).

Dzyuba V.V. *Geograficheskie printsipy razrabotki metodik prognoza lavinoopasnykh periodov dlya maloissledovannykh raionov. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk [Geographical principles for the development of techniques for forecasting avalanche periods for little explored areas. Ph. D. (Geography) Thesis]*. Moscow, Publ. MSU, 1983. 23 p. (In Russian).

Ebeling W. *Strukturbildung bei Irreversiblen Prozessen – Eine Einführung in die Theorie dissipativer Strukturen.* Leipzig, Publ. BSB Teubner, 1976. 194 p. (Russ. ed.: Ebeling V. *Obrazovanie struktur pri neobratimykh protsessakh. Vvedenie v teoriyu dissipativnykh struktur*. Moscow, Publ. Mir, 1979. 280 p.).

островов русскими людьми «Курильские острова: история, современность, перспективы» (г. Южно-Сахалинск, 16-17 декабря 1997 г.). Южно-Сахалинск, 1997. Т.2. С. 91-92.

Жируев С.П., Окопный В.И., Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Лавинная опасность на автомобильных и железных дорогах Сахалина и Курил //Геориск. 2010. № 4. С. 50-57

Земцова А.И. Климат Сахалина. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 197 с.

Иванов А.В. Общий обзор лавинного режима острова Сахалин // Лавины Сахалина и Курильских островов / Под ред. К.Ф. Войтковского, В.Е. Барабаша. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. С. 4-25.

Иванов А.В., Васильев А.Б. Некоторые результаты натурных исследований лавинного режима в условиях муссонного климата // Снег и лавины Сахалина / Под ред. В.Е. Барабаша, А.К. Дюнина. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. С. 34-55.

Кадастр лавин СССР. Том 18. Дальний Восток / Под ред.

Geografiya lavin [Geography of Avalanches]. Myagkova S.M., Kanaeva L.A. (eds.). Moscow, Publ. of MSU, 1992. 330 p. (In Russian).

Geologiya SSSR: v 48 t. T. 33. Ostrov Sakhalin: geologicheskoe opisanie [Geology of the USSR: in 48 vol. T. 33. Sakhalin Island: geological description] A.V. Sidorenko (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1970. 432 p. (In Russian).

Gigch John P. van *Applied general systems theory.* New York, Hagerstown, San Francisco, London, Harper & Row Publishers, 1978. 602 p. (Russ. ed.: Gig Dzh., van *Prikladnaya obshchaya teoriya sistem. Knigi 1-2*. Moscow, Publ. Mir, 1981.)

Haken H. *Advanced Sinergetics*. Springer-Verlag, Ser.Sinergetics, Berlin, Heidelberg, 1983. (Russ. ed.: Khaken G. *Sinergetika. Ierarkhii neustoichivostei v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroi-stvakh.* Moscow, Publ. Mir, 1985. 424 p.)

Ivanov A.V. Obshchii obzor lavinnogo rezhima ostrova Sakhalin [A general overview of the avalanche regime of Sakhalin Island]. In Voitkovskiy K.F., Barabasha V.E. (eds.) *Laviny Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov [Avalanches of Sakhalin-on and the Kuril Islands].* Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1971, pp. 4-25. (In Russian).

Ivanov A.V., Vasil'ev A.B. Nekotorye rezul'taty naturnykh issledovanii lavinnogo rezhima v usloviyakh mussonnogo klimata [Some results of field studies of the avalanche regime in monsoon climate]. In Barabasha V.E., Dyunina A.K. (eds.) *Sneg i laviny Sakhalina [Snow and Avalanches of Sakhalin Island]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975, pp. 34-55. (In Russian).

Л.А. Канаева. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 122 с.

Казаков Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): Автореф. дисс. … канд. геол.-мин. наук. Южно-Сахалинск, 2000. 36 с.

Казаков Н.А. Природный лавинный комплекс как триггерная геосистема: предпосылки управления лавинным процессом // Материалы Всероссийской конференции «Риск-2003» (г. Москва, 26-28 марта 2003 г.). М.: АНКИЛ, 2003. Т. 2. С. 344-348.

Казаков Н.А. О формировании лавин в лесу // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С. 192-196.

Казаков Н.А. Перекристаллизация снега и особенности лавинообразования на Сахалине и Курильских островах // Материалы Международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения профессора географического факультета МГУ

Kadastr lavin SSSR. Tom 18. Dal'nii Vostok [Cadastre of avalanches of the USSR. Volume 18. The Far East] Kanaeva L.A. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1988. 122 p. (In Russian).

Karta lavinoopasnykh raionov Sovetskogo Soyuza [Map of avalanche hazardous areas of the Soviet Union]. Moscow, Publ. of MSU, 1971. (In Russian).

Karta litologicheskikh kompleksov i proyavlenii ekzogennykh protsessov o. Sakhalin: masshtab 1:500 000 [Map of lithological complexes and manifestations of exogenous processes about. Sakhalin: scale 1: 500 000]. Tyutrina I.I., Sergeeva K.F. (eds.). Moscow, Publ. of General Directorate of Geodesy and Cartography, 1984. (In Russian).

Katalog lavin o. Sakhalin i Kuril'skikh ostrovov za period 1935-1989 [Catalog of avalanches of Sakhalin Island and the Kuril Islands for the period 1935-1989]. Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalinskoe UGMS, 1990. (In Russian).

Kazakov N.A. *Geologicheskie i landshaftnye kriterii otsenki lavinnoi i selevoi opasnosti pri stroitel'stve lineinykh sooruzhenii (na primere o. Sakhalin): Avtoref. diss. kand. geol.-mineral. nauk* [*Geological and landscape criteria for assessing avalanche and debris flow hazard during the construction of linear structures (on the example of Sakhalin Island). Ph. D. (geological and mineralogical) Thesis*] Yuzhno-Sakhalinsk, 2000. 36 p. (In Russian).

Kazakov N.A. Prirodnyi lavinnyi kompleks kak triggernaya geosistema: predposylki upravleniya lavinnym protsessom [Natural avalanche complex as a trigger geosystem: prerequisites for controlling the avalanche process]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii «Risk-2003» (g. Moskva, 26-28 marta 2003 g.) [The proceedings of the All-Russian*

Георгия Казимировича Тушинского «Гляциология в начале XXI века» (г. Москва, 15-16 октября 2009 г.). М.: Изд-во Университетская книга, 2009а. С. 70-77.

Казаков Н.А. Природный лавинный комплекс как триггерная геосистема // Материалы Международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения профессора географического факультета МГУ Георгия Казимировича Тушинского «Гляциология в начале XXI века» (г. Москва, 15-16 октября 2009 г.). М.: Изд-во Университетская книга, 2009б. С. 110-115.

Казаков Н.А. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова: эволюция снежного покрова в Арктике и прогноз изменения физико-механических характеристик снежной толщи // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Комплексные научные исследования и сотрудничество в Арктике: взаимодействие вузов с академическими и отраслевыми научными организациями» (г. Архангельск,

Conference "Risk-2003" (Moscow, March 26-28, 2003)]. Moscow, Publ. ANKIL, 2003, vol. 2, pp. 344-348. (In Russian).

Kazakov N.A. O formirovanii lavin v lesu [On the formation of avalanches in the forest]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii [Data of glaciological studies]*, 2007, publ. 102, pp. 192-196. (In Russian; abstract in English).

Kazakov N.A. Perekristallizatsiya snega i osobennosti lavinoobrazovaniya na Sakhaline i Kuril'skikh ostrovakh [Recrystallization of snow and features of avalanche formation on Sakhalin and the Kuril Islands]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora geograficheskogo fakul'teta MGU Georgiya Kazimirovicha Tushinskogo «Glyatsiologiya v nachale dvadtsat' pervogo veka» (g. Moskva, 15-16 oktyabrya 2009 g.) [The proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 100th birthday of Georgy Kazimirovich Tushinsky, professor of the Faculty of Geography of Moscow State University, "Glaciology at the beginning of the twenty first century" (Moscow, October 15-16, 2009)]*. Moscow, University Book Publishing House, 2009a, pp. 70-77. (In Russian).

Kazakov N.A. Prirodnyi lavinnyi kompleks kak triggernaya geosistema [The natural avalanche complex as a trigger geosystem] *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora geograficheskogo fakul'teta MGU Georgiya Kazimirovicha Tushinskogo «Glyatsiologiya v nachale dvadtsat' pervogo veka» (g. Moskva, 15-16 oktyabrya 2009 g.) [The proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 100th birthday of Georgy*

26-27 февраля 2015 г.). Архангельск: ИД САФУ, 2015. С. 126-131.

Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н. Большие лавины небольших склонов // Геориск. 2008. № 2. С. 56-58.

Казаков Н.А., Окопный В.И., Жируев С.П., Генсиоровский Ю.В., Аникин В.А. Лавинный режим Восточно-Сахалинских гор // Материалы гляциологических исследований. 1999. Вып. 87. С. 211-215.

Казакова Е.Н. Зависимость динамических характеристик лавин на Сахалине от их генетических типов // Геориск. 2009. № 4. С. 10-13.

Казакова Е.Н. Лавинная опасность населённых пунктов Сахалинской области // Геориск. 2010. № 4. С. 58-60.

Казакова Е.Н. Снежные карнизы на морских террасах Южного Сахалина // Криосфера Земли. 2013. Т. 17. № 3. С. 94-99.

Казакова Е.Н. Природные и антропогенные лавинные комплексы морских берегов (на примере о. Сахалин): Автореф. дисс.

Kazimirovich Tushinsky, professor of the Faculty of Geography of Moscow State University, "Glaciology at the beginning of the twenty first century" (Moscow, October 15-16, 2009)]. Moscow, University Book Publishing House, 2009b, pp. 110-115. (In Russian).

Kazakov N.A. Litologo-stratigraficheskie kompleksy snezhnogo pokrova: evolyutsiya snezhnogo pokrova v Arktike i prognoz izmeneniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik snezhnoi tolshchi [Lithological and stratigraphic complexes of the snow cover: the evolution of snow cover in the Arctic and the forecast of changes in the physical and mechanical characteristics of the snow stratum]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Kompleksnye nauchnye issledovaniya i sotrudnichestvo v Arktike: vzaimodeistvie vuzov s akademicheskimi i otraslevymi nauchnymi organizatsiyami» (g. Arkhangel'sk, 26-27 fevralya 2015 g.) [The proceedings of the All-Russian Conference with International Participation "Integrated Scientific Research and Cooperation in the Arctic: Interaction of Universities with Academic and Industrial Scientific Organizations" (Arkhangelsk, February 26-27, 2015)].* Arkhangelsk, Publishing House of NArFU, 2015, pp. 126-131. (In Russian).

Kazakov N.A., Gensiorovskii Yu.V., Kazakova E.N. Bol'shie laviny nebol'shikh sklonov [Large avalanches of small slopes]. *Georisk [Georisk]*, 2008, no. 2, pp. 56-58. (In Russian).

Kazakov N.A, Gensiorovskiy J.V., Zhiruev S. P., Drevilo M.S. Stratigrafic complexes of a snow cover. *Annals of Glaciology*, 2012, vol. 58, iss. 61, pp. 39-44. DOI: 10.3189/2012AoG61A025

… канд. геогр. наук. Хабаровск, 2014. 24 с.

Казакова Е.Н. Классификация береговых лавинных комплексов острова Сахалин // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 152-159. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(152-159)

Казакова Е.Н., Лобкина В.А. Лавинные катастрофы в Сахалинской области // Материалы гляциологических исследований. 2007. № 103. С.185-190.

Карта лавиноопасных районов Советского Союза. М.: МГУ, 1971.

Карта литологических комплексов и проявлений экзогенных процессов о. Сахалин: масштаб 1:500 000 / Под ред. И.И. Тютрина, К.Ф. Сергеева. М.: ГУГК, 1984

Каталог лавин о. Сахалин и Курильских островов за период 1935-1989 гг. Южно-Сахалинск: Сахалинское УГМС, 1990.

Козик С.М. Расчёт движения снежных лавин. Л.: Гидрометиздат, 1962. 74 с.

Kazakov N.A., Okopnyi V.I., Zhiruev S.P., Gensiorovskii Yu.V., Anikin V.A. Lavinnyi rezhim Vostochno-Sakhalinskikh gor [Avalanche regime of the East Sakhalin Mountains]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii [Data of glaciological studies]*, 1999, publ. 87, pp. 211-215. (In Russian; abstract in English).

Kazakova E.N. Zavisimost' dinamicheskikh kharakteristik lavin na Sakhaline ot ikh geneticheskikh tipov [The dependence of the dynamic characteristics of avalanches on Sakhalin on their genetic types]. *Georisk [Georisk]*, 2009, no. 4, pp. 10-13. (In Russian; abstract in English).

Kazakova E.N. Lavinnaya opasnost' naselennykh punktov Sakhalinskoi oblasti [Avalanche hazard for the Sakhalin region settlements]. *Georisk [Georisk]*, 2010, no. 4, pp. 58-60. (In Russian; abstract in English).

Kazakova E.N. Snezhnye karnizy na morskikh terrasakh Yuzhnogo Sakhalina [Snow cornices on the marione terraces of South Sakhalin]. *Kriosfera Zemli [Kriosfera Zemli]*, 2013, vol. 17, no. 3, pp. 94-99. (In Russian; abstract in English).

Kazakova E.N. Prirodnye i antropogennye lavinnye kompleksy morskikh beregov (na primere o. Sakhalin). *Avtoref. diss. kand. geogr. nauk [Natural and anthropogenic avalanche complexes of sea coasts (on the example of Sakhalin Island). Ph. D. (Geography) Thesis]*. Khabarovsk, 2014. 24 p. (In Russian).

Kazakova E.N. Klassifikatsiya beregovykh lavinnykh kompleksov ostrova Sakhalin [Classification of coastal avalanche complexes of Sakhalin Island]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources],* 2016,

Коломыц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 206 с.

Коломыц Э.Г. Теория эволюции в структурном снеговедении. М.: ГЕОС, 2013. 482 с.

Лавиноопасные районы Советского Союза / Под ред. Г.К. Тушинского. М.: Изд-во МГУ, 1970. 200 с.

Литенко Н.Л. Типы фаций, гидроморфная структура и функционирование ландшафтов Сахалина // Вопросы географии и геоморфологии Советского Дальнего Востока: сб. науч. тр. / Отв. ред. Ю.Б. Зонов. Владивосток: Изд. Дальневост. ун-та, 1992. С. 17-26.

Материалы наблюдений за осадками и снежным покровом в горах 1959-1993 гг. Южно-Сахалинск: Сахалинское УГКС, 1994.

Научно-прикладной справочник по климату СССР: 4 серии. Серия 3. Многолетние данные: в 35 выпусках. Выпуск 34. Сахалинская область / Под ред. Г.П. Ивановой. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 351 с.

no. 3, pp. 152-159. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(152-159)

Kazakova E.N., Lobkina V.A. Lavinnye katastrofy v Sakhalinskoi oblasti [Avalanche disasters in the Sakhalin region]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii [Data of glaciological studies]*, 2007, no. 103, pp.185-190. (In Russian; abstract in English).

Kolomyts E.G. *Struktura snega i landshaftnaya indikatsiya [Snow structure and landscape indication]*. Moscow, Publ. Nauka, 1976. 206 p. (In Russian).

Kolomyts E.G. *Teoriya evolyutsii v strukturnom snegovedenii [The theory of evolution in structural snow studies]*. Moscow, Publ. GEOS, 2013. 482 p. (In Russian).

Kozik S.M. *Raschet dvizheniya snezhnykh lavin [Calculation of the movement of snow avalanches]*. Leningrad, Publ. Gidrometizdat, 1962. 74 p. (In Russian).

Lavinoopasnye raiony Sovetskogo Soyuza [Avalanche-hazardous areas of the Soviet Union]. Tushinskogo G.K. (ed.). Moscow, Publ. of MSU, 1970. 200 p. (In Russian).

Litenko N.L. Tipy fatsii, gidromorfnaya struktura i funktsionirovanie landshaftov Sakhalina [Types of facies, hydromorphic structure and functioning of Sakhalin landscapes]. In Zonov Yu.B. (ed.) *Voprosy geografii i geomorfologii Sovetskogo Dal'nego Vostoka: sbornik nauchnykh trudov [Questions of geography and geomorphology of the Soviet Far East: collection of scientific papers]*. Vladivostok, Publishing House of the Far Eastern University, 1992, pp. 17-26. (In Russian).

Окопный В.И. Особенности лавинообразования на южных Курильских островах // Лёд и снег. 2011. № 1 (113). С. 58-63.

Рыбальченко С.В. Зависимость толщины лавинных отложений от морфологии и морфометрии лавиносбора (на примере Восточно-Сахалинских гор и Хибин) // Георискк. 2009. №4. С. 18-21.

Рыбальченко С.В. Лавинные комплексы территорий населённых пунктов Сахалинской области // Георискк. 2010. № 4. С. 42-49.

Северский И.В., Благовещенский В.П. Оценка лавинной опасности горной территории. Алма-Ата: Наука, 1983. 220 с.

Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.

Справочник по климату СССР. Особо опасные гидрометеорологические явления. Вып. 34. Южно-Сахалинск: СахУГКС, 1985.

Трошкина Е.С. Лавинный режим горных территорий СССР. М.: ВИНИТИ, 1992. 188 с.

Materialy nablyudenii za osadkami i snezhnym pokrovom v gorakh 1959-1993 gg. [Materials of observations of precipitation and snow cover in the mountains of 1959-1993]. Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalinskoe UGKS, 1994. (In Russian).

Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR: 4 serii. Seriya 3. Mnogoletnie dannye: v 35 vypuskakh. Vypusk 34. Sakhalinskaya oblast' [Scientific-applied reference on the climate of the USSR: 4 series. Series 3. Multi-year data: in 35 issues. Issue 34. Sakhalin Region]. Ivanova G.P. (ed.). Leningrad, Publ. Gidrometizdat, 1990. 351 p. (In Russian).

Okopnyi V.I. Osobennosti lavinoobrazovaniya na yuzhnykh Kuril'skikh ostrovakh [Features of avalanche formation in the southern Kuril Islands]. *Led i sneg [Ice and snow (Russia)],* 2011, no. 1 (113), pp. 58-63. (In Russian).

Podolskiy E.A., Izumi K., Suchkov V. E., Eckert N. Physical and societal statistics for a century of snow-avalanche hazards on Sakhalin and the Kuril Islands (1910–2010) *Journal of Glaciology*, 2014, vol. 60, no. 221, pp. 403-430. DOI: 10.3189/2014JoG13J143

Rybal'chenko S.V. Zavisimost' tolshchiny lavinnykh otlozhenii ot morfologii i morfometrii lavinosbora (na primere Vostochno-Sakhalinskikh gor i Khibin) [Dependence of the thickness of avalanche deposits on the morphology and morphometry of avalanche collection (on the example of the East Sakhalin Mountains and the Khibiny)]. *Georisk [Georisk]*, 2009, no. 4, pp. 18-21. (In Russian; abstract in English).

Rybal'chenko S.V. Lavinnye kompleksy territorii naselennykh punktov Sakhalinskoi oblasti [Avalanche complexes of the territories of the Sakhalin region settlements].

Тушинский Г.К. Эволюция снежной толщи // Вопросы географии. 1951. № 24. С. 350-380.

Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 424 с.

Черешкин Д.С., Кононов А.А., Тищенко Д.В. Принципы таксономии угроз безопасности информационных систем // Вестник РФФИ. 1999. № 3(17). С. 68-72.

Щукин И.С. Общая геоморфология. Т. 1-3. М.: Изд-во Московского университета, 1960-1974.

Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / Пер. с нем. А.С. Доброславского; под ред. Ю.Л. Климонтовича. М.: Мир, 1979. 280 с.

Kazakov N. A, Gensiorovskiy J.V., Zhiruev S. P., Drevilo M.S. The stratigraphic complexes of a snowpack // Annals of Glaciology. 2012. Vol. 53. Iss. 61. P. 39-44. DOI: 10.3189/2012AoG61A025.

Podolskiy E.A., Izumi K., Suchkov V.E., Eckert N. Physical and societal statistics for a century *Georisk [Georisk]*, 2010, no. 4, pp. 42-49. (In Russian; abstract in English).

Severskii I.V., Blagoveshchenskii V.P. *Otsenka lavinnoi opasnosti gornoi territorii [Assessment of avalanche hazard in a mountainous area].* Alma-Ata, Publ. Nauka, 1983. 220 p. (In Russian).

Shchukin I.S. *Obshchaya geomorfologiya. T. 1-3*. Moscow, Publishing house of Moscow University, 1960-1974. (In Russian).

Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh [Introduction to the doctrine of geosystems]*. Novosibirsk, Publ. Nauka, 1978. 319 p. (In Russian).

Sokratov S., Kazakov N. Dry snow metamorphism expressed by crystal shape. *Annals of Glaciology*, 2012, vol. 53, iss. 61, pp. 51-56. DOI: 10.3189/2012AoG61A029

Spravochnik po klimatu SSSR. Osobo opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya. Vyp. 34 [Handbook of the climate of the USSR. Particularly dangerous hydrometeorological phenomena. Vol. 34]. Yuzhno-Sakhalinsk, Publ. SakhUGKS, 1985. (In Russian).

Troshkina E.S. *Lavinnyi rezhim gornykh territorii SSSR [The avalanche regime of the mountain territories of the USSR]*. Moscow, Publ. VINITI, 1992. 188 p. (In Russian).

Tushinskii G.K. Evolyutsiya snezhnoi tolshchi [Evolution of the snow stratum]. *Voprosy geografii [Geography Issues],* 1951, no. 24, pp. 350-380. (In Russian).

Volodicheva N.A. Kharakteristika lavinnoi opasnosti Kuril'skikh ostrovov [Description of the avalanche hazard of the Kuril Islands]. In Voitkovskiy K.F., Barabasha V.E. (eds.) *Laviny Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov [Avalanches*

of snow-avalanche hazards on Sakhalin and the Kuril Islands (1910–2010) // Journal of Glaciology. 2014. Vol. 60. Iss. 221. P. 409-430. DOI: 10.3189/2014JoG13J143.

Sokratov S., Kazakov N. Dry-snow metamorphism expressed by crystal shape //Annals of Glaciology. 2012. Vol. 53. Iss. 61. P. 51-56. DOI: 10.3189/2012AoG61A029.

of Sakhalin-on and the Kuril Islands]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1971, pp. 26-39. (In Russian).

Zemtsova A.I. *Klimat Sakhalina [Climate of Sakhalin]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1968. 197 p. (In Russian).

Zhiruev S.P., Okopnyi V.I., Kazakov N.A., Gensiorovskii Yu.V. Lavinnaya opasnost' na avtomobil'nykh i zheleznykh dorogakh Sakhalina i Kuril [The avalanche hazard on the motorroads and railroads on the Sakhalin and Kuril Islands]. *Georisk [Georisk]*, 2010, no. 4, pp. 50-57. (In Russian; abstract in English).

УДК 551.322 DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.005

АНАЛОГИЧНОСТЬ В ОБРАЗОВАНИИ МЕТЕЛЕВЫХ ЛАВИН В ХИБИНАХ

П.А. Черноус[1], А.В. Волков[2]

[1] *Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия;*

[2] *Управление главного инженера АО «Апатит», г. Кировск, Россия*

pchernous48@gmail.com

AN ASSESSMENT OF THE SIMILARITY OF SNOWSTORM AVALANCHING IN THE KHIBINY MOUNTAINS

Pavel A. Chernous[1], Aleksandr V. Volkov[2]

[1]*Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, Far East Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia;*

[2]*Management of the chief engineer "Apatit" JSC, Kirovsk, Russia*

pchernous48@gmail.com

Аннотация. На практике прогнозирование возникновения лавин в отдельно взятом лавинном очаге осуществляется, как правило, субъективно на основе фоновых лавинных прогнозов, прогнозов погоды, данных о местоположении и рельефе лавинного очага, а также имеющихся данных о снежном покрове в этом очаге. При этом прогнозистами иногда выделяются лавинные очаги, в которых, по их мнению, лавинообразование происходит сходно. Обычно считают, что лавинообразование происходит сходно в лавинных очагах близких по морфологии и морфометрии, а также имеющих близкие экспозиции. Целью работы было установление количественной связи в лавинообразовании метелевых лавин в 22-х лавинных очагах, расположенных на территории площадью около 25 км^2, находящейся

Abstract. In practice, forecasting of avalanche occurrences in a single avalanche path is usually subjective based on background avalanche and weather forecasts, data on the location and topography of the avalanche starting zone, as well as available data on the snowpack in it. Moreover, forecasters sometimes identify avalanche starting zones, in which, according to their opinion, avalanche formation is similar. It is generally believed that avalanche formation occurs similarly in avalanche starting zones similar in morphology and morphometry, as well as having similar exposure. The aim of the work was to establish a quantitative relationship in the avalanche formation of snowstorm avalanches in 22 avalanche starting zones located in an area of about 25 km^2 located in the southern part

в южной части Хибин. Исследование проведено на основе многолетних наблюдений за лавинами в данном регионе. В качестве меры близости лавинообразования в двух лавинных очагах *P(i/j)* была использована условная вероятность образования лавины в лавинном очаге *i,* если лавина образовалась в лавинном очаге *j*. Как показало исследование, статистические связи лавинообразования в различных лавинных очагах являются значимыми, но, как правило, довольно слабыми. Наиболее сходно образование метелевых лавин происходит в очагах имеющих сходную экспозицию. Помимо этого, влияют деформации воздушного потока в горной системе и размеры зон метелевого сноса снега, а также пространственная изменчивость физико-механических характеристик метелевого снега в лавинных очагах. Предложена методика вероятностной диагностики и прогнозирования метелевых лавин с использованием лавинных очагов-индикаторов.

Ключевые слова: метелевые лавины; массовый сход; вероятности; лавинные очаги-аналоги; диагностика лавин; прогнозирование.

of the Khibiny Mountains. The study was based on long-term observations of avalanches in this area. As a measure of the proximity of avalanche formation in two avalanche starting zones *P (i / j)*, we used the conditional probability of avalanche formation in avalanche starting zone *i*, if an avalanche formed in avalanche starting zone *j*. As the study showed, correlations between avalanche formation in various avalanche starting zones are statistically significant, but, as a rule, rather weak. The most similar formation of snow avalanches occurs in the starting zones having a similar exposure. In addition, the deformations of the air flow in the mountain system and the size of the snow drift zones, as well as the spatial variability of the physical and mechanical characteristics of snowpack in avalanche starting zones, also affect. A methodology for probabilistic diagnosis and forecasting of snowstorm avalanches using avalanche starting zones-indicators is proposed.

Keywords: snowstorm avalanches; numerous releases; probabilities; avalanche starting zones-analogues; avalanche diagnostics; forecasting

Введение

Естественно предположить, что одинаковым условиям лавинообразования будет соответствовать сходное лавинопроявление. Однако, полностью одинаковых условий, в которых формируются лавины, даже на незначительных площадях не бывает. Поэтому и связи

Chernous P.A., Volkov A.V An assessment of the Similarity of snowstorm avalanching in the Khibiny Mountains. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 381-391 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.005

между лавинообразующими факторами и лавинопроявлением, а также между лавинопроявлением в различных лавиносборах носят не детерминированный, а вероятностный характер.

Рельеф лавиносбора, как правило, не меняется или меняется очень медленно, за исключением случаев, когда он подвергается воздействию быстрых геологических либо антропогенных процессов. Поэтому, рельеф, как фактор влияющий на лавинопроявление, можно считать постоянным для каждого лавиносбора. Сходство характеристик рельефа в лавиносборах определяет сходство в определении экстремальных динамических характеристик возможных лавин. Аналогичность в рельефе может быть использована, например, при проведении изысканий для строительства в малоизученных районах. Количественное описание рельефа лавиносборов и выбор соответствующих мер аналогичности лавиносборов по отношению к экстремальному лавинопроявлению не является задачей настоящей работы.

Целью работы является исследование аналогичности лишь в возникновении лавин в различных лавинных очагах. Количественная оценка такой аналогичности может быть полезна для выявления очагов-индикаторов лавинной опасности, пространственной дифференциации диагностики лавиноопасных ситуаций на основе данных о сошедших лавинах, а также для прогнозирования возникновения лавин. Выделение лавинных очагов-аналогов, то есть таких, в которых процесс лавинообразования протекает в значительной мере сходно, может использоваться при формировании более или менее однородных выборок приемлемых размеров, используемых для построения правил разделения метеорологических ситуаций на два класса – лавиноопасные и нелавиноопасные. Например, при дискриминантном анализе или методах распознавания образов. Для получения более четких связей между возникновением лавин в различных лавинных очагах, желательно проводить их анализ для лавин одного генетического типа. В настоящей работе рассматривается вопрос вероятностной связи и определения степени аналогичности образования метелевых лавин [Аккуратов, 1959] в различных лавинных очагах.

Методы и материалы

В связи с поставленной задачей возникает вопрос о выборе меры аналогичности. В качестве таковой предлагается использовать условную вероятность $P(i/j)$ образования лавины в лавинном очаге i, если лавина образовалась в лавинном очаге j [Judson, 1983]. Необходимо при этом определить период времени, к которому относится вероятность $P(i/j)$. Учитывая

точность определения времени схода большинства лавин этот период определен одними календарными сутками. Для лавин некоторых генетических типов, например, для лавин свежевыпавшего снега и метелевых лавин, может быть использована длительность снегопада или метели, но не менее суток. В настоящей работе для этого взяты календарные сутки. Таким образом, если лавины сошли в очагах i и j в течение календарных суток, значит имело место совместное событие $A(i \cap j)$. В качестве оценки условной вероятности $P(i/j)$ использовано отношение числа таких совместных событий - $N_{A(i \cap j)}$ к общему числу сходов лавин $N_{A(j)}$ в лавинном очаге j, взятых за определенный период $P(i/j) = A(i \cap j)/A(j)$.

Для анализа вероятностей $P(i/j)$ были выбраны Хибинские лавинные очаги, контролируемые противолавинной службой ОАО «Апатит», на участке площадью около 25 км^2 (рисунок 1). Всего на этом участке было выделено 69 лавинных очагов, где за период с 1935 г. по 2010 г. сходила хотя бы одна лавина.

В настоящей работе использованы нумерация и границы лавинных очагов, как они отмечены в кадастре лавиносборов противолавинной службы ОАО «Апатит». Всего в вышеупомянутый период в этих очагах сошло 6565 лавин. Из кадастра лавин противолавинной службы ОАО «Апатит» отбирались лишь те случаи схода лавин, для которых дата схода была точно известна. Таких лавин было 5373. Причем в некоторые дни в отдельных лавинных очагах сходило по несколько лавин. Если в течение дня в лавинном очаге сходило несколько лавин, это учитывалось, как одно событие. Всего таких событий (дней с лавинами) за 75 лет было 2037.

При оценке вероятностей $P(i/j)$ во внимание принимались лишь те лавинные очаги, которые не были деформированы горными работами, а также наблюдения за которыми велись в тот же период, что и за другими очагами. Эти данные были использованы для оценки частот одновременного возникновения лавин в разном числе лавинных очагов, без учета их генетических типов. Генетический тип лавины указывался в кадастре лавин до 1986 года. Поэтому оценки вероятностей $P(i/j)$ для метелевых лавин выполнены по данным полученным до этого года. В некоторых лавинных очагах наблюдалось всего по несколько случаев образования метелевых лавин, такие лавинные очаги были исключены из рассмотрения. Анализу подверглись лишь те лавинные очаги, в которых отмечалось не менее 10 случаев (дней) схода лавин. Всего было учтено 813 случаев возникновения метелевых лавин в 22-х лавинных очагах (рисунок 1).

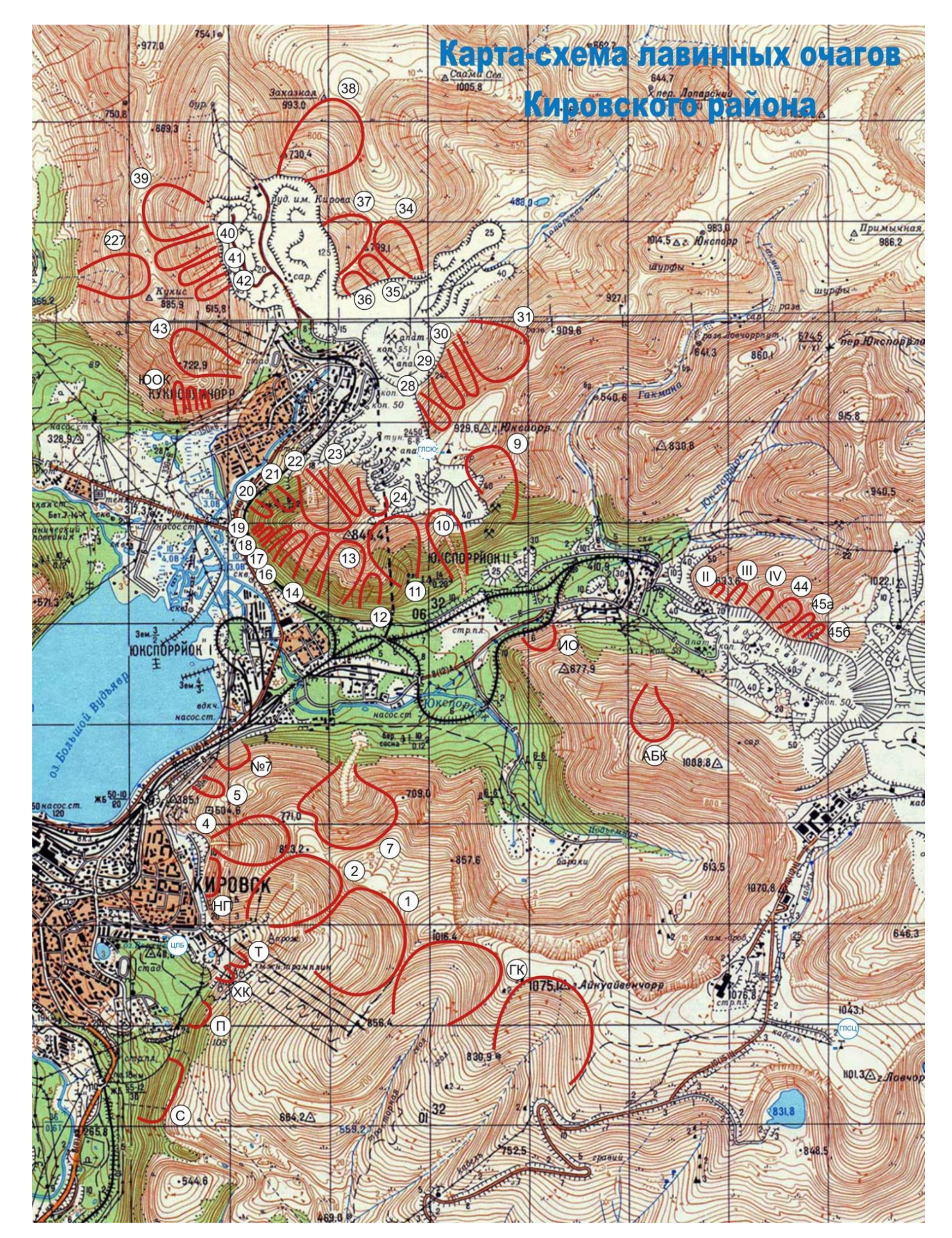


Рисунок 1. Схема лавинных очагов в районе наблюдений в Хибинах

Figure 1. Schema of avalanche starting zones in the avalanche monitoring area in the Khibiny Mountains

Обсуждение результатов

Сход лавин в один и тот же день во многих лавинных очагах явление довольно редкое. Наибольшее количество очагов за все время наблюдений в рассматриваемом районе, в которых сошли лавины в один и тот же день, было зафиксировано 15.12.1991 и составило 14, или 26% всех лавинных очагов, контролируемых в то время. Три раза в один и тот же день были активными 13 лавинных очагов, 12 лавинных очагов – один раз, 11 лавинных очагов – 2 раза и в 10 лавинных очагах – 6 раз. В 56% всех дней с лавинами был активен лишь один лавинный очаг. Массовых сходов лавин, когда наблюдается возникновение лавин более чем в 1/3 всех лавинных очагов в регионе[1], в Хибинах не зарегистрировано.

Похожие результаты были получены в Скалистых горах, в штате Колорадо, США. Там наблюдения на территории 200 км^2 показали, что только дважды в год наблюдаются такие сходы лавин, когда действуют более 10% лавинных очагов [Judson, 1983]. Тип лавин при этом во внимание не принимался.

Что касается метелевых лавин, то их одновременный сход во многих лавинных очагах также явление довольно редкое и вероятность его резко уменьшается с увеличением доли активных лавинных очагов к их общему количеству в данном районе. Анализ дат схода лавин в районе Хибин, контролируемом противолавинной службой ОАО «Апатит», показал, что доля случаев, когда в один и тот же день сходили метелевые лавины в более чем 10% всех очагов составляет не более 4% всех дней с метелевыми лавинами. Если совместный сход лавин относить не к календарным дням, а ко всему периоду метелевого явления, то сход метелевых лавин в более чем 10% лавинных очагов наблюдается почти в 10% всех ситуаций, в которых наблюдались метелевые лавины. Это объясняется тем, что достаточно большое количество «лавинных» метелей имеет продолжительность более суток и некоторыми временными различиями в метелевом снегонакоплении в различных лавинных очагах, необходимом для возникновения метелевой лавины.

Проверка вероятностных связей между возникновением лавин в различных парах лавинных очагов с помощью критерия χ^2 показала, что при 0,1% уровне значимости большинство связей являются значимыми. Оценки вероятностей *P(i/j)* представлены в таблице 1.

[1] Методические указания по снеголавинному обеспечению народного хозяйства. Ташкент, 1987. 48 с.

Таблица 1. Оценка вероятностей *P(i/j)* образования метелевой лавины в лавинном очаге *i*, если метелевая лавина образовалась в лавинном очаге *j*.

Table 1. Assessments of probabilities *P(i/j)* of snowstorm avalanche release in avalanche starting zone *i*, if snowstorm avalanche has been released in avalanche starting zone *j*.

i/j	2	3	4	9	13	14	16	17	18	19	22	23	24	28	29	30	31	34	35	37	38	43
2	1	0,00	0,08	0,16	0,12	0,12	0,14	0,08	0,12	0,02	0.04	0,02	0,02	0,02	0,06	0,04	0,04	0,26	0,06	0,04	0,14	0,06
3	0,00	1	0,00	0,09	0,09	0,00	0,00	0,09	0,18	0,00	0,00	0,00	0,18	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,29	0,00	1	0,14	0,29	0,21	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,21	0,07
9	0,21	0,03	0,05	1	0,13	0,18	0,24	0,08	0,13	0,08	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,18	0,08	0,10	0,13	0,05
13	0,15	0,03	0,12	0,12	1	0,50	0,32	0,35	0,32	0,09	0,12	0,06	0,00	0,00	0,09	0,09	0,03	0,29	0,09	0,06	0,06	0,09
14	0,21	0,00	0,11	0,21	0,61	1	0,43	0,25	0,32	0,18	0,07	0,04	0,00	0,00	0,11	0,07	0,07	0,04	0,25	0,04	0,04	0,11
16	0,14	0,00	0,02	0,18	0,22	0,25	1	0,39	0,50	0,18	0,04	0,02	0,04	0,02	0,06	0,04	0,02	0,18	0,04	0,04	0,06	0,04
17	0,08	0,02	0,00	0,06	0,23	0,13	0,36	1	0,43	0,15	0,15	0,06	0,04	0,02	0,09	0,04	0,06	0,21	0,06	0,08	0,04	0,08
18	0,12	0,04	0,02	0,10	0,23	0,19	0,46	0,48	1	0,27	0,12	0,08	0,02	0,00	0,02	0,04	0,04	0,19	0,04	0,06	0,06	0,06
19	0,04	0,00	0,04	0,14	0,14	0,23	0,41	0,36	0,59	1	0,09	0,14	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,32	0,04	0,14	0,09	0,09
22	0,06	0,00	0,03	0,00	0,12	0,06	0,06	0,24	0,18	0,06	1	0,18	0,15	0,18	0,09	0,12	0,18	0,21	0,06	0,09	0,29	0,00
23	0,09	0,00	0,09	0,09	0,18	0,09	0,09	0,27	0,36	0,27	0,54	1	0,00	0,18	0,00	0,00	0,18	0,18	0,00	0,18	0,09	0,00
24	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,100	0,10	0,05	0,00	0,25	0,00	1	0,05	0,00	0,05	0,05	0,20	0,00	0,05	0,05	0,00
28	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07	0,33	0,13	0,07	1	0,27	0,07	0,20	0,20	0,27	0,20	0,00	0,07
29	0,25	0,08	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,42	0,08	0,08	0,25	0,00	0,00	0,33	1	0,00	0,08	0,25	0,08	0,17	0,00	0,08
30	0,10	0,05	0,00	0,05	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,15	0,00	0,05	0,05	0,00	1	0,35	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00
31	0,12	0,00	0,00	0,12	0,06	0,06	0,06	0,19	0,12	0,00	0,38	0,12	0,06	0,19	0,06	0,44	1	0,12	0,12	0,06	0,00	0,00
34	0,12	0,00	0,01	0,07	0,11	0,08	0,10	0,11	0,10	0,08	0,06	0,020	0,039	0,029	0,039	0,020	0,020	1	0,052	0,088	0,118	0,069
35	0,10	0,00	0,00	0,14	0,14	0,05	0,10	0,14	0,10	0,05	0,05	0,00	0,00	0,14	0,05	0,05	0,10	0,29	1	0,10	0,10	0,10
37	0,06	0,00	0,00	0,11	0,08	0,03	0,06	0,11	0,08	0,08	0,08	0,06	0,03	0,14	0,06	0,00	0,03	0,28	0,14	1	0,14	0,14
38	0,19	0,00	0,08	0,14	0,06	0,08	0,08	0,06	0,08	0,06	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,06	0,14	1	0,14
43	0,15	0,00	0,05	0,10	0,15	0,06	0,10	0,20	0,15	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,35	0,10	0,25	0,25	1

В целом вероятности *P(i/j)* довольно малы, что отражает большую неоднородность условий лавинообразования и указывает на низкую эффективность фоновых прогнозов, которые, по сути дела, улавливают лишь обобщенную тенденцию лавинообразования, конкретные проявления которой являются в рамках таких прогнозов непредсказуемыми. Наибольшее значение *P(i/j)*=0,61 (*P(j/i)*=0,50) получено для очагов *i*=14 и *j*=13 (рисунок 2).



Рисунок 2. Схема лавинных очагов № 13 – № 19 горы Юкспор

Figure 2. Schema of avalanche starting zones № 13 – № 19 of the Yukspor Mountain

Большие значения *P(i/j)* также получены для пар очагов входящих в группу очагов с 13 по 19 (рисунок 2), а также для пар рядом расположенных очагов 22 и 23, 28 и 29, 30 и 31 (рисунок 1). Например, около 45% всех метелевых лавин в лавинном очаге 17 (рисунки 1 и 2) сходит во время метелей, при которых образуются лавины в лавинном очаге 18 и наоборот. Большие значения вероятностей объясняются сходной ориентацией и близким расположением очагов, принадлежностью к одному макросклону и общей областью сноса метелевого снега. Причем схожая ориентация лавинных очагов является необходимым, но недостаточным условием аналогичности лавинообразования. Например, вероятности *P(i/j)* и *P(j/i)* для

одинаково ориентированных очага 37 и очагов из группы с 13-го по 19-й сравнительно небольшие. То же самое можно отметить для очага 38 и очагов из группы с 13-го по 19-й.

Очевидно, что синхронность возникновения лавин зависит и от различий в крутизне лавинных очагов. На крутых склонах метелевые лавины формируются быстрее и чаще, чем на пологих. Влияния различий в площади лавинных очагов на тесноту связей в возникновении метелевых лавин отмечено не было. Как уже говорилось, условия образования метелевых лавин в лавинных очагах с 13 по 19 (рисунок 2) обладают наибольшей степенью аналогичности. Лавины, сходящие в этих очагах, угрожают одному объекту – железной дороге (рисунки 1 и 2). Этот факт был использован при создании методики прогноза лавинной опасности для этого объекта. Были сформированы достаточно большие однородные выборки лавинных и не лавинных ситуаций, описываемых набором характеристик, на основе которых были построены правила разделения ситуаций в этих очагах на лавинные и не лавинные [Черноус, 1975]. Используя расчетную вероятность образования лавины в лавинном очаге $P(j)$, полученную каким-либо образом, например с помощью статистического моделирования [Черноус, Перликов, Мокров, 1998], можно с помощью формулы полной вероятности оценить вероятность образования лавины в очаге i:

$$P(i) = P(i/j)P(j) + P(i/j_н)[1 - P(j)] \quad (1)$$

где $P(i/j_н)$ – вероятность образования лавины в лавинном очаге i, если лавина в лавинном очаге j не сошла.

Таблица вероятностей $P(i/j_н)$ здесь не приводится, но их значения значительно меньше, чем $P(i/j)$ и в расчетах их можно не учитывать

Заключительные замечания

Таким образом, полученные данные количественно подтверждают значительную пространственную изменчивость лавинообразования, связанного с метелями в Хибинах, где этот тип лавинообразования является основным. При образовании метелевых лавин, большую роль играют не только морфология и морфометрия лавинных очагов, но и их расположение по отношению к источникам сноса метелевого снега. Такая изменчивость сильно отличает образование метелевых лавин от лавин свежевыпавшего снега. Что в свою очередь приводит к выводу о большей сложности прогнозирования метелевых лавин, по сравнению с прогнозированием лавин свежевыпавшего снега.

Формулировки фоновых прогнозов лавин, в районах с интенсивной метелевой деятельностью, должны отличаться большим диапазоном описания лавинопроявления от мест, где метелей нет или они редки. Для детальных лавинных прогнозов в «метелевых районах» мониторинг предикторов должен осуществляться с более высоким пространственным и временным разрешением, чем в районах, где метелевая деятельность слабая, для достижения одинакового качества прогнозов.

Показатель аналогичности лавинных очагов *P(i/j)* позволяет разбить очаги на группы, в которых процесс лавинообразования протекает сходно, а также определить репрезентативные лавинные очаги. В свою очередь, данные о сошедших лавинах в репрезентативных очагах, полученные оперативно, позволяют более обоснованно оценивать лавинную опасность в других очагах. Также для этих целей может быть использован любой надежный метод оценки возможности образования лавины в репрезентативном лавинном очаге. В том числе и экспертные оценки.

Представленная матрица $|P(i/j)|$ успешно использовалась в работе Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит» для оценки лавинной опасности во время метелей.

Литература

Аккуратов В.Н. Генетическая классификация лавин // Труды Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции. Т. 1 (4): Снег, лавины и применение снега в народном хозяйстве: Материалы II Всесоюз. межвед. конференции, посвящ. вопросам снежного покрова / Под ред. Г.К. Сулаквелидзе и Г.К. Тушинского. Нальчик: Кабард.-Балкар. кн. изд-во, 1959. С. 215-232.

Черноус П.А., Перликов А.М., Мокров Е.Г. Автоматизированное рабо-

References

Akkuratov V.N. Geneticheskaya klassifikatsiya lavin [Genetic classification of avalanches]. In Sulakvelidze G.K., Tushinskogo G.K. (eds.) *Trudy El'brusskoi vysokogornoi kompleksnoi ekspeditsii. T. 1 (4): Sneg, laviny i primenenie snega v narodnom khozyaistve: Materialy vtoroi Vsesoyuznoi mezhvedomstvennoi konferentsii, posvyashchennoi voprosam snezhnogo pokrova [Transactions of the Elbrus Alpine Complex Expedition. T. 1 (4): Snow, avalanches and the use of snow in the national economy: Materials of the second All-Union Interdepartmental Conference on Snow Cover Issues].* Nalchik: Kabardino-Balkarian Book Publishing House, 1959, pp. 215-232. (In Russian).

чее место прогнозиста лавин // Материалы гляциологических исследований. 1998. № 84. С. 72-75

Черноус П.А. Применение многомерного дискриминантного анализа для распознавания лавиноопасных ситуаций // Исследования снега и лавин в Хибинах: материалы Хибинской гляциологической конференции (г. Кировск, 25-26 декабря 1972 г) / Отв. ред. Б.Н. Ржевский. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1975. С. 64-70

Judson A. On the potential use of index path for avalanche assessment. // Journal of Glaciology. 1983. Vol. 29. No. 101. P. 178-184. DOI: 10.1017/S0022143000005232

Chernous P.A., Perlikov A.M., Mokrov E.G. Avtomatizirovannoe rabochee mesto prognozista lavin [Automated work place of avalanche forecaster]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovanii [Data of Glaciological Studies]*, 1998, no. 84, pp. 72-75. (In Russian; abstract in English).

Chernous P.A. Primenenie mnogomernogo diskriminantnogo analiza dlya raspoznavaniya lavinoopasnykh situatsii [Application of multivariate discriminant analysis for avalanche situations recognition]. In Rzhevskii B.N. (ed.) *Issledovaniya snega i lavin v Khibinakh: materialy Khibinskoi glyatsiologicheskoi konferentsii (g. Kirovsk, 25-26 dekabrya 1972 g) [Studies of snow and avalanches in the Khibiny: materials of the Khibiny Glaciological Conference (Kirovsk, December 25-26, 1972)]* Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975, pp. 64-70. (In Russian).

Judson A. On the potential use of index path for avalanche assessment. *Journal of Glaciology*, 1983, vol. 29, no. 101, pp. 178-184. DOI: 10.1017/S0022143000005232

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

THE EVOLUTION OF THE EARTH'S HYDROSPHERE

УДК 556

DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.002

ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РАВНИННЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ ПРИИЛЬМЕНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПОРУСЬЯ)

А.Ю. Виноградов[1,2], В.А. Обязов[1], М.М. Кадацкая[1]

[1]ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия; [2]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

gd@npogtp.ru

VARIABLITY OF VELOCITIES OF VERTICAL WATERCOURSE DEFORMATIONS OF PLAIN RIVERS UNDER CONDITIONS OF PRIILMEN LOWLAND (BY THE EXAMPLE OF PORUSIA RIVER)

Alexey Yu. Vinogradov[1,2], Viktor A. Obyazov[1], Mariya M. Kadatskaya[1]

[1]Scientific and Industrial Research Association Gidrotehproekt, Valday, Russia; [2]Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

Аннотация. Известные закономерности регрессивной эрозии от устья к истокам водотоков на реках Приильменья выполняются дискретно, поскольку базис эрозии – вначале уровень Средне-Ловацого (Привалдайского) приледникового озера, а затем озера Ильмень – снижался в течение 12,5 тыс. лет с отметок около 85 м до современных 18 м, стабилизируясь на продолжительное время на отметках 60, 40, 30 м. Сравнение построенного по картографическим материалам продольного профиля реки Порусьи с рассчитанным по

Abstract. The well-known patterns of regressive erosion from the mouth to the sources of watercourses on the rivers of Priilmen'ya are performed discretely, since the basis of erosion (first the level of Sredne-Lovatsy (Privaldaysky) glacial lake, and then Lake Ilmen) is decreased over 12.5 thousand years from elevations of about 85 m to modern 18 m, stabilizing for a long time at elevations of 60, 40, 30 m. Comparison of the longitudinal profile of the Porusia River constructed from cartographic materials with su-

Vinogradov A.Yu., Obyazov V.A., Kadatskaya M.M. Variablity of velocities of vertical watercourse deformations of plain rivers under conditions of Priilmen lowland (by the example of Porusia River) *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 392-407 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.002

формуле Н.И. Маккавеева предельным профилем эрозионного вреза показало, что профиль исследуемой реки еще не достаточно выработан, хотя превышение бровок долины над дном реки в ее среднем течении составляет 10-15 м. Корректность расчета эрозионной кривой подтверждается ее совпадением с продольным профилем реки Ловать, существующую значительно более долгое время и имеющую наибольшую водность среди рек Приильменской низменности. По данным топографических карт 1932 и 1984 годов, а также собственных измерений 2016-2019 годов установлено, что общее понижение дна реки в районе деревни Минцево (71 км от истока) за 90 лет (1930-2019 годы) достигало 3,5 м. По другим способам оценки, включая опросы местных жителей, глубина эрозионного вреза на этом участке примерно за такой же промежуток времени составила от 1 до 1,6-1,8 м. На другом участке реки (53 км от истока) за сопоставимый период по картографическим материалам были получены аналогичные скорости вертикальных русловых деформаций. Изучение дополнительного материала позволило выдвинуть гипотезу, согласно которой за 300 лет отметки дна могли снизиться на 10 м. На основании анализа данных почвенного разреза сделан вывод, что скорость вертикального размыва имела ярко выраженный дискретный характер. На труд-

preme erosion cut profile calculated according to the formula N.I. Makkaveev showed that the profile of this river has not yet been sufficiently developed, although the excess of the edge of the valley above the bottom of the river in its middle course is 10-15 m. The correctness of the calculation of the erosion curve is confirmed by its coincidence with the longitudinal profile of the river Lovat', which exists for a longer time and has the greatest water content among the rivers of the Priilmen lowland. According to topographic maps of 1932 and 1984, as well as our own measurements of 2016-2019 it was found that the total lowering of the river bottom near the village of Mintsevo (71 km from the source) over 90 years (1930-2019) reached 3.5 m. Using other assessment methods, including surveys of local residents, the depth of the erosion cut in this locality is approximately the same period of time ranged from 1 to 1.6-1.8 m. On a different locality of the river (53 km from the source) for a comparable period, similar rates of vertical channel deformations were obtained from cartographic materials. Studying of additional let make a hypothesis according to which over 300 years the bottom marks could decrease by 10 m. An analysis of the soil section data allowed us to conclude that the rate of vertical erosion had strongly marked discrete character. On hard washable areas, vertical

норазмываемых участках вертикальная эрозия резко замедлялась и составляла тысячи лет, а мощные слои супесей размывались в течение столетий.

Ключевые слова: русловые деформации; эрозионный врез; водоупор; почвенный разрез; река Порусья; Приильменская низменность.

erosion slowed sharply and was some thousands years, but for thick layers of sandy loam eroded for centuries.

Keywords: deformations of the watercourse; erosive incision; waterproof soil; soil section; Porusia River; Priilmen lowland.

Введение

Проблемы эволюции равнинных (при уклонах менее 0,6‰) речных долин имеют не только теоретическое, но и практическое значение при решении вопросов гидротехнического, мелиоративного и дорожного строительства.

С геолого-геоморфологической точки зрения, любая река проходит ряд стадий, от молодости до зрелости, например [Земцов, 1979; Короновский, 2006]. Считается, что на ранней стадии жизни в реке преобладает донная эрозия, река представляет собой узкую, неразработанную долину V – образной формы (овражный тип) [Короновский, 2006]. В дальнейшем долина расширяется за счет боковой эрозии и, вследствие меандрирования, ограниченного коренными берегами долины, долина приобретает ящикообразную форму: формируется пойма, образуются террасы, продольный профиль реки в нижней части выравнивается, максимальный уклон поднимается вверх по течению к водоразделу. В последней стадии своей жизнедеятельности долина реки расширяется еще больше, вновь меняется тип руслового процесса, река неограниченно меандирирует, образуется много стариц, уклоны падают, скорость течения замедляется. В конце концов река заиливается и зарастает.

Процесс формирования русел рек, включая разработку их продольного профиля, интересно рассмотреть на примере рек, возникших после деградации Валдайского оледенения на территории Приильменской низменности. Во-первых, этот процесс происходил в сравнительно короткий промежуток времени (12-15 тыс. лет), за который достаточно хорошо известна история развития рельефа и речной сети [Hughes et al., 2016; Gorlach, Hang, Kalm, 2017; Rinterknecht et al., 2018, Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019]. Во-вторых, русловой процесс этих рек развивается в ледниковых отложениях, состоящих

преимущественно из трудноразмываемых суглинков, что выступает ограничивающим фактором в развитии их русел.

Целью исследования является оценка скорости врезания русел малых рек Приильменской низменности в подстилающие грунты.

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбрана средняя по размерам, из впадающих в оз. Ильмень южных притоков, река Порусья. Площадь водосбора Порусьи – 1030 км^2, средняя ширина водосбора в верховьях составляет 8 км, в среднем течении – 5 км, в нижнем – 4 км. Длина водосбора – около 100 км.

Поскольку заложение современной речной сети Южного Приильменья произошло в процессе деградации Валдайского оледенения, время существования реки Порусья не превышает 15 тыс. лет, причем часть реки в нижнем течении находится при современном базисе эрозии всего около 5 тыс. лет [Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019].

Результаты и обсуждение

Известные закономерности регрессивной эрозии от устья к истокам водотоков на реках Приильменья выполняются дискретно, поскольку после деградации Валдайского оледенения базис эрозии – уровень Средне-Ловацого (Привалдайского) приледникового озера – снизился с отметок 85 м [Квасов, 1975] (около 12,5 тыс. л.н.) до отметок 60 м, где на достаточно длительный период (более 1000 лет) стабилизировался [Субетто, 2007]. Вследствие этого регрессивная эрозия начиналась от базиса 60 м [Геология СССР, 1971] и именно на этих высотах река имеет максимальный врез долины – 10 м и более. Около двух тысяч лет (9 500-11 500 л.н.) уровень колебался в районе отметки 40 м.

В дальнейшем (8 тыс. л.н.) произошла регрессия оз. Ильмень до отметок 30 м [Субетто, 2007], и последние 5 тыс. лет уровень колеблется в пределах 18-25 м Балтийской системы (далее – БС) [Геология СССР, 1971; Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019].

Поскольку отметки ледникового озера достаточно длительный период последовательно располагались на уровнях 60 и 40 м, то на этих отметках сегодня можно видеть выраженные абразионные уступы в южной и юго-восточной частях низменности [Геология СССР, 1971]. Озерно-ледниковые отложения верхнего звена Валдайского надгоризонта имеют место до отметок 35-40 м на юго-востоке и 30 м на юго-западе

низменности. Западнее эти отложения погребены под слоем более поздних ледниковых отложений [Геология СССР, 1971].

По данным топографических карт 1932 и 1984 гг., а также материалам собственной съемки 2017 г. были построены продольные профили р. Порусьи за эти годы и продольный профиль коренного берега (рисунок 1). На продольном профиле коренного берега отчетливо видны повышенные уклоны на высотах 40-50 и 60-70 м, что подтверждает факт долговременного наличия уреза воды на отметках 40 и 60 м.

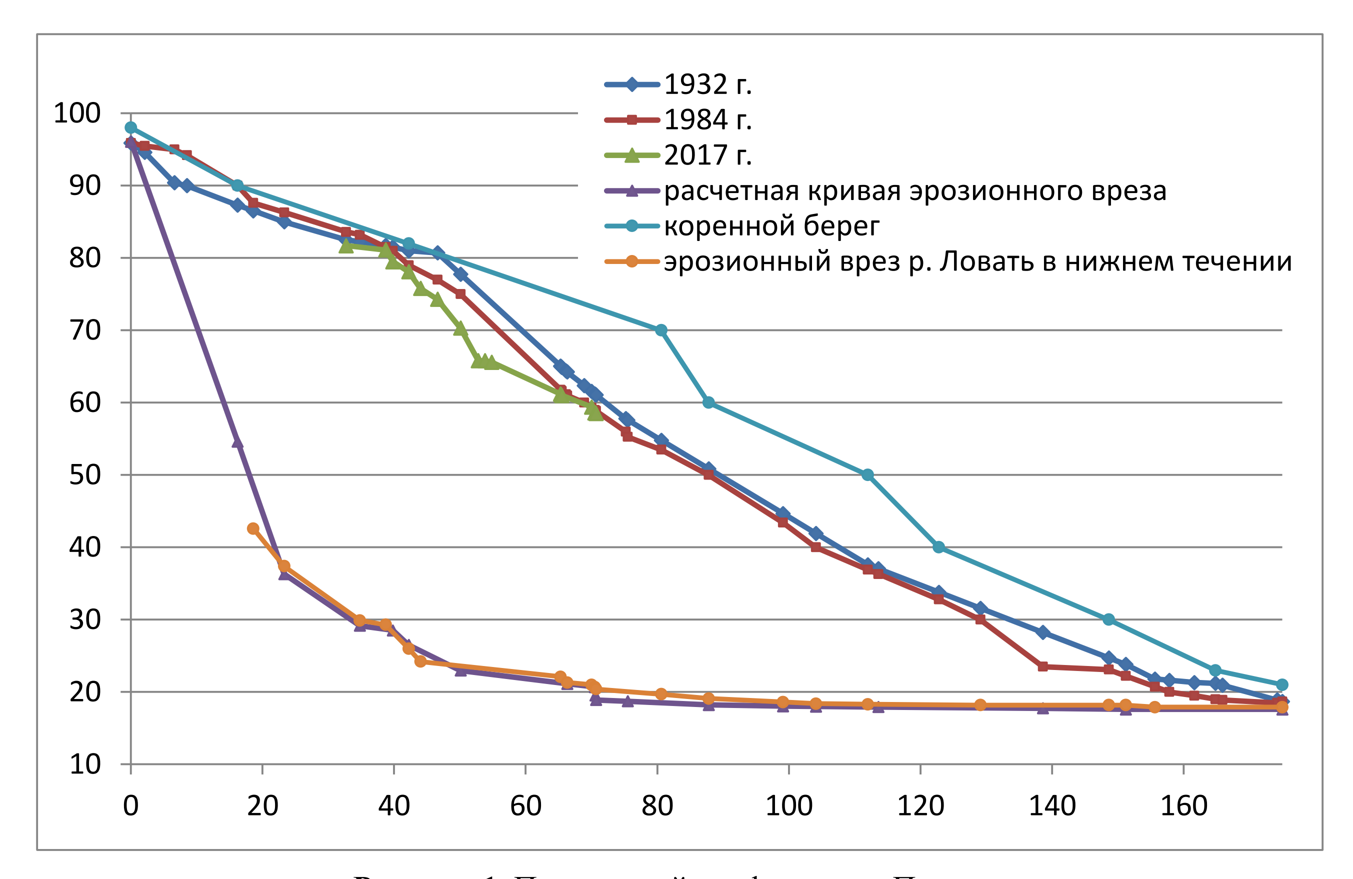


Рисунок 1. Продольный профиль реки Порусья

Figure 1. Longitudinal profile of the Porusia River

На рисунке 1 также представлен предельный профиль эрозионного вреза р. Порусья, рассчитанный по формуле [Маккавеев, 2003]:

$$J = K_0 Q^{-2/3}, \qquad (1)$$

где K_0 – постоянная, зависящая от шероховатости и формы живого сечения русла,

Q – руслообразующий расход воды 50% повторяемости, по длине русла.

В отличие от общепринятого [Маккавеев, 2003; Беркович, 2012] варианта, K_0 подобран из соображений равенства верхней расчетной точки вреза отметке истока реки. У Н.И. Маккавеева K_0 – коэффициент, зависящий от режима стока, шероховатости русла, крупности наносов и формы поперечного сечения, у нас – коэффициент пропорциональности.

Река Ловать, как существующая значительно более долгое время и имеющая большую водность, сработала русло в пределах Приильменской низменности практически до предельного значения, приближенного к базису эрозии. Близость рассчитанных по (1) предельных значений эрозионной кривой р. Порусья существующим отметкам вреза р. Ловать, говорит о правильности выполненных нами расчетов.

Скорость врезания равнинных рек по [Никонов, 1971] не превышает 0,2-0,7 мм/год. Врезание русла р. Порусья в склон низменности, исходя из этих соображений, должно составить 5-7 м за 10 000 лет, или около 10 м за время существования реки, что, в среднем, соответствует действительности.

Река Порусья имеет начало на высотных отметках около 100 м БС. Аллювиальные отложения начинаются с отметок дна 85 м БС, в верховьях их мощность не превышает 0,1-0,5 м [Геология СССР, 1971] и возрастает по мере приближения к устью:

- в створе д. Нивки (39 км от истока) – 1,6 м; отметка меженного уреза – 80,0 м; отметка дна – 79,5 м[1];
- в створе д. Минцево (71 км от истока – собственные наблюдения в 2016-2019 гг.) отметка водоупора – 57,8 м БС; минимальная отметка дна за период наблюдений (2017) – 57,8 м; максимальный слой аллювиальных отложений, включающий пойму и первую береговую террасу, составляет 5,5 м;
- в створе урочища Бабаново (81 км от истока) – 2,0 м; отметка уреза – 53,5 м; отметка дна – 52,5 м (рисунок 2а);
- в створе д. Лосытино (130 км от истока) – 6,7 м; отметка уреза – 29,0 м; отметка дна – 28,0 м (рисунок 2б).

Итак, по геологическим картам подрусловой слой аллювиальных отложений на участке максимальных размывов (40-80 км от истока) составляет не менее 1,5 м, по непосредственным наблюдениям он не превышает 1 м и при интенсивных паводках смывается полностью, что приводит к воздействию потока непосредственно на водоупорные горизонты.

[1] Карта четвертичных отложений: О-36-XX (Старая Руса). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта четвертичных образований. Ильменская серия, масштаб: 1:200000, серия: Ильменская / редактор: К.Э. Якобсон. Северо-Западное производственное геологическое объединение, 1988.

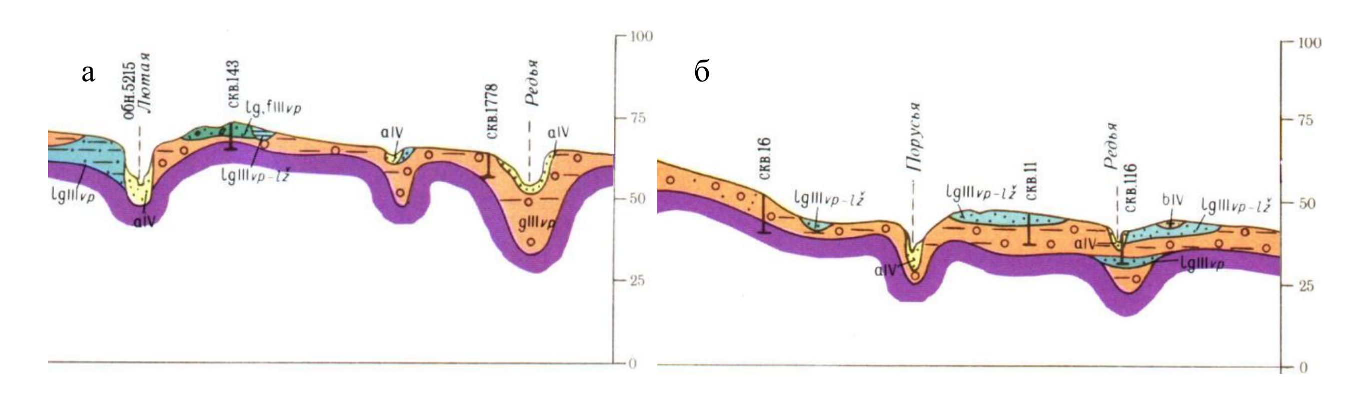


Рисунок 2. Разрез четвертичных отложений долины р. Порусья на 81 км (между Лютой и Редьей) (а) и на 130 км (б) от истока[2]

Figure 2. Section of the Quaternary sediments of the Porusia River valley for 81 km (between Lyuta and Redya) (a) and 130 km (б) from the headwaters

Водоупором реке служат ледниковые отложения Валдайского горизонта верхней морены (*gIIIvp3*). На всей территории низменности он является наиболее распространенным относительно непроницаемым горизонтом средней мощностью 15 м.

Продольный профиль реки в верховьях пологий. Вертикальный размыв в пределах водораздельного болотного массива минимальный. Река интенсивно меандрирует и имеет коэффициент извилистости 1,2-1,5. Ниже по течению врез реки относительно коренного берега растет и достигает 5-8 м к отметкам меженных урезов 75-80 м. Интенсивный вертикальный размыв происходит на отметках 75-50 м.

В последние годы на двух участках р. Порусья силами ООО НПО «Гидротехпроект» ведутся наблюдения за вертикальной и береговой эрозиями. Нижний участок расположен в районе д. Минцево – 71 км от истока (рисунок 3). Обычно все оценки размывающей способности потока строятся на его способности размывать и перемещать аллювиальные отложения реки. Однако в районе д. Минцево мощность донных аллювиальных отложений не превышает 0,5 м, а после дождливого сезона 2017 года на рассматриваемом участке аллювий был смыт полностью. Отметка водоупора в русловой части (тяжелые суглинки) на этом участке составляет 57,8 м, и в затяжные паводки река также врезается непосредственно в водоупор.

[2] Там же

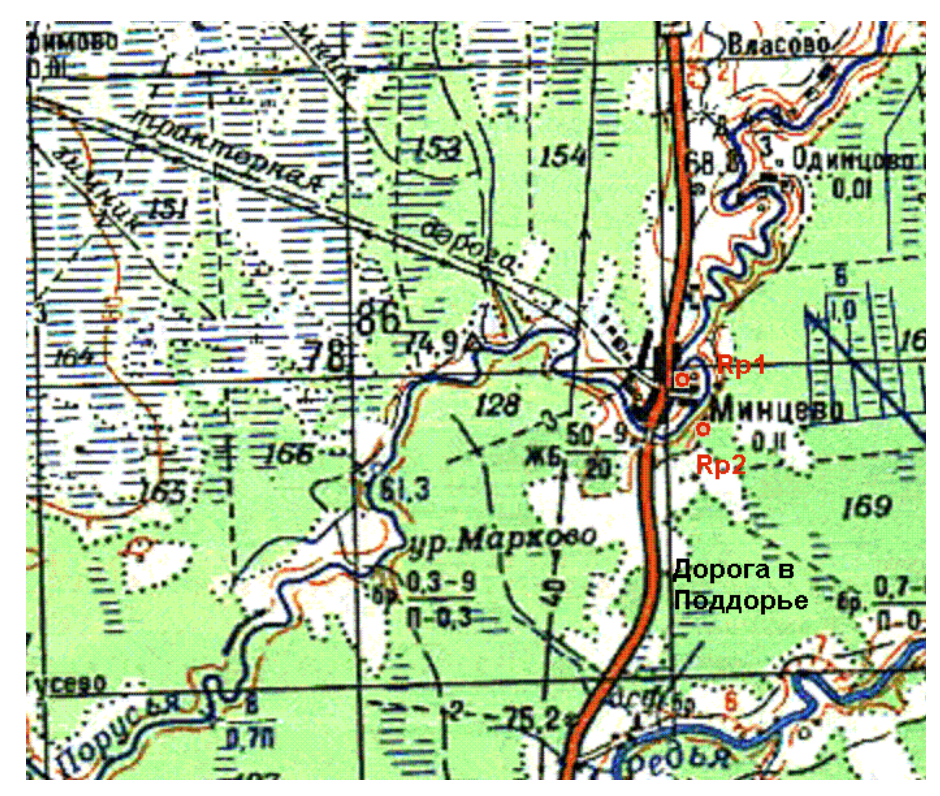


Рисунок 3. Местоположение нижнего участка. О-36-87, карта 1988 года, масштаб 1:100 000

Figure 3. The location of the lower locality. O-36-87, map of 1988, scale 1: 100 000

Отметки меженных урезов воды в районе репера 1 (рисунок 3) по картографическому материалу 1932 года (62,5 м) отличаются от соответствующих отметок на картах 1984 года (60,0 м) (инструментальные измерения 1955 г.) на 2,5 м в сторону понижения. Нашими измерениями 2017-2019 гг. данная тенденция подтверждена (58,8 м БС). Меженные глубины 0,4-0,6 м. Отметки с карт на рассматриваемый створ перенесены интерполированием. Таким образом, общее понижение дна реки на участке за 90 лет (1930-2019 гг.) составило 3,5 м. Нами ранее свидетельств таких односторонних интенсивных вертикальных размывов на равнинных реках не отмечалось.

Другим способом оценки скорости вертикальных деформаций на этом участке реки является сравнение отметок старицы и современного русла (рисунок 4). Дно старицы (работающей по картам 1932 года) превышает отметки существующего дна реки на 4,5 метра при расчетном подъеме уровня на 4,2 м для пропуска расхода 1% обеспеченности. Отметка водоупора дна старицы выше отметки водоупора существующего русла на 0,85 м. То есть, можно предположить, что вертикальный размыв в районе д. Минцево за этот период (1940-е – 2010-е гг.) составил около 1 м.



Рисунок 4. Старица р. Порусья в районе д. Минцево. Участок №2.
Снимок из программы SAS.Planet.Release.160707

Figure 4. Oxbow of Porusia River near the village of Mintsevo. Locality number 2.
Snapshot from SAS.Planet.Release.160707

Полученные результаты совпадают с данными, полученными при опросе местных жителей, по свидетельству которых за последние 50 лет в пределах д. Минцево среднемеженные уровни упали на 1,6-1,8 м, что однозначно связано с просадкой дна реки.

Верхний участок наблюдений расположен у д. Петихино (рисунок 5). Отметка дна р. Порусья в настоящее время (нивелировка 2019 г.) на данном участке составляет 65,3 м относительно отметки коренного берега 80,0 БС (53 км от истока). Отметки меженного уреза в этом месте в 1932 г. – 70,2 м; 1984 г. – 69,0 м; 2019 г. – 66,0 м. Соответственно, общее понижение на этом участке реки составило около 4 м!

Столь быстрый размыв за сравнительно небольшой период времени вызывает обоснованные сомнения. Получается, что за время, когда озеро отступило с этих отметок – 12 тыс. лет – общее вертикальное смещение составило 15 м, а за последние 100 лет – 4 м? Тем более что данные даже крупномасштабных картографических материалов изобилуют ошибками и неточностями.

Формирование русел реки и ее притоков на этом участке, по нашему мнению, могло происходить по следующей гипотезе: русло в начальной стадии своего формирования располагалось северо-западнее его нынешнего положения по линии русел притоков, впадающих в настоящее время в реку выше д. Петихино и ниже д. Полтораново (рисунок 5). Впоследствии образовалось современное русло, а старое превратилось в старицу. На карте 1793 года в районе отметки 86,8 находилась д. Чертова, которая отсутствует уже на картах Шуберта середины 19 века. Основное русло реки Порусья находилось юго-восточнее, следовательно можно сделать вывод, что старица в конце 18 века уже не работала.

Предположительно река ушла в новое русло в первой четверти 18 века, таким образом срок отмирания старицы составляет около 300 лет. Старая отметка водоупора дна старицы, полученная технической нивелировкой и буровыми работами в русле, находится не ниже 75,5 м БС, существующая отметка дна в русле реки в точке бифуркации – 65,3 м. Поскольку, как было показано ранее, река на этом участке за 100 лет врезалась на 4 м, можно предположить, что за 300 лет отметки дна могли снизиться на 10 м. Тем более, максимальные уклоны и, следовательно, скорость размыва в настоящее время находятся именно на рассматриваемом участке. Но тогда получается, что за предыдущие 11,5 тыс. лет река размыла всего около 5 м?

Отметка дна старицы в районе второго репера – 72,9 (рисунок 5), водоупора (тяжелые девонские суглинки) – 73,6 м. Аллювиальные отложения в русле старицы в районе наблюдательного створа отсутствуют. Ручей, протекающий в настоящее время по старице, врезался в водоупор на 70 см.

Вертикальный разрез коренного берега представлен в таблице 1. Отметка поверхности почвы 79,5 м БС.

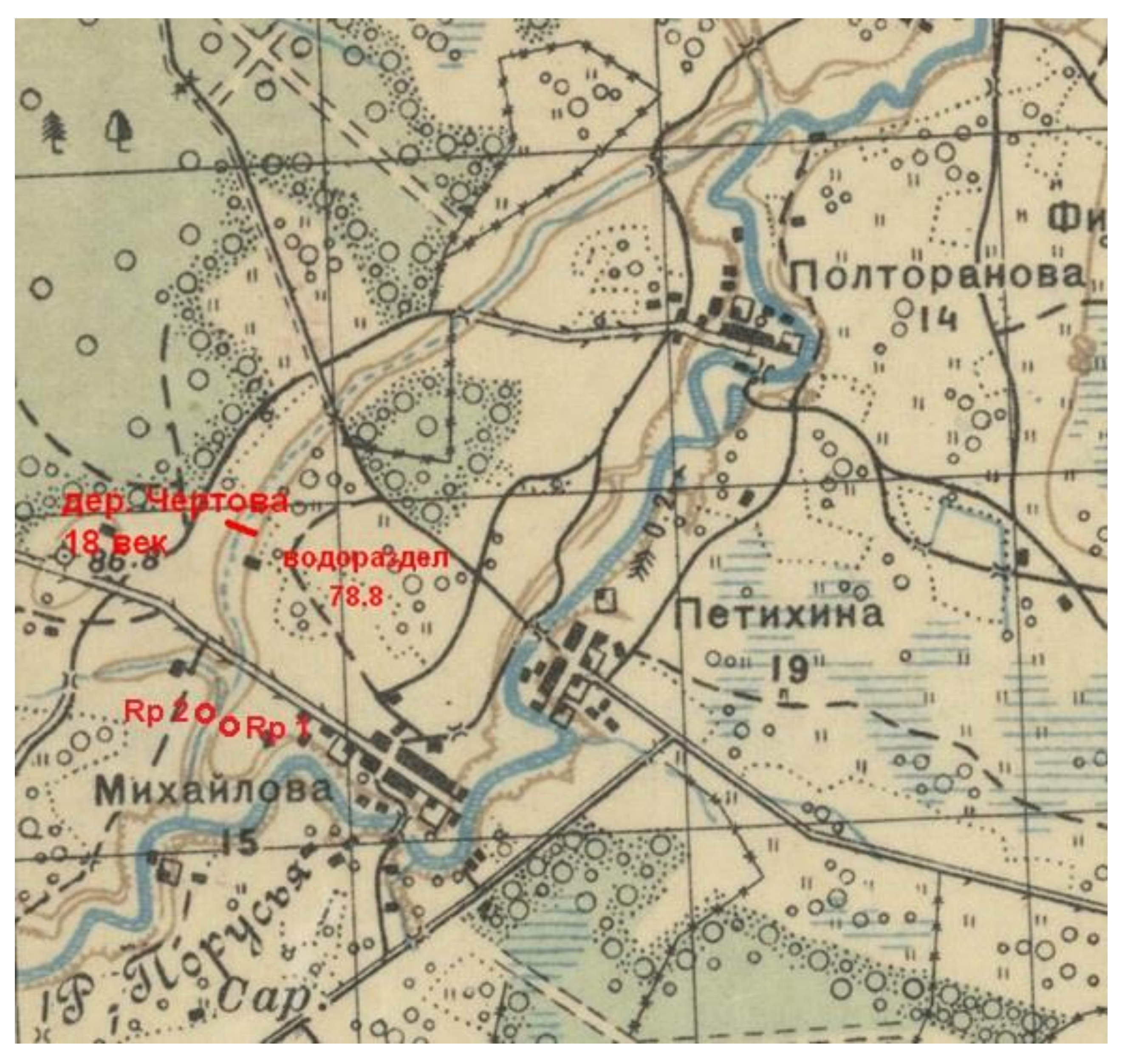


Рисунок 5. Местоположение верхнего участка. Управление военных топографов О-36-87-В, карта 1932 года, масштаб 1:50 000 (в названиях деревень допущена ошибка: вместо «Михайлова» следует читать «Петихина», и наоборот)

Figure 5. The location of the upper locality. Management of military topographers O-36-87-B, map of 1932, scale 1:50 000 (a mistake was made in the names of the villages: instead of “Mikhailov” you should read “Petikhina”, and vice versa)

Таблица 1. Вертикальный почвенный разрез по правому берегу старицы р. Порусья

Таблица 1. Vertical soil section along the right bank of the old Porusia River

разрез	мощность, м	влажность	плотность в естественном залегании	пористость	плотность сухого	пористость сухого
почвенный слой	0-0,65	-	-	-	-	-
суглинок красно-коричневый, трещиноватый	0,65-1,05	0,24	2,08	0,23	1,84	0,32
супесь красная	1,05-1,6	0,24	1,91	0,29	1,67	0,38
суглинок красный	1,6-1,8	0,48	2,12	0,22	1,64	0,39
супесь серая, водоносная	1,8-2,0	0,43	2,05	0,23	1,62	0,39
супесь с прожилками суглинков	2,0-3,3	0,38	1,80	0,33	1,52	0,43
супесь коричневая	3,3-4,45	0,51	1,82	0,32	1,32	0,51
суглинок красный	4,45-4,55	0,37	2,11	0,22	1,73	0,36
супесь серая, водоносный горизонт	4,55-4,6	0,45	2,10	0,21	1,65	0,38
пятнистый суглинок, плотный	4,6-5,0	0,36	2,20	0,19	1,84	0,32
красный суглинок, плотный	5,0-5,45	0,38	2,22	0,18	1,84	0,32
супесь серая мелкозернистая	5,45-5,65	0,47	2,10	0,21	1,63	0,39
серо-голубой суглинок, плотный	5,65-5,9	0,43	2,31	0,15	1,88	0,31
красный суглинок, плотный	5,9-7,4	0,37	2,20	0,19	1,83	0,32
песок желтый, среднезернистый	7,4-10,0	0,36	2,04	0,24	1,68	0,37
песчаник серый, плотный	10,0-10,7	0,38	2,14	0,20	1,76	0,34
супесь	10,7-	0,38	2,07	0,22	1,69	0,37

Слои трудноразмываемых флювиогляциальных суглинков имеют суммарную мощность всего 0,75 м. Ниже залегают легкоразмываемые супеси общей мощностью 3,2 м. Далее под 0,85 м слоем плотных суглинков опять находится 0,2 м водоносный горизонт голубой мелкозернистой супеси, ниже которого тяжелые трудноразмываемые голубые и красные суглинки общей мощностью около 2,0 м. Еще ниже среднезернистые пески, подстилаемые плотным песчаником, мощностью до 1 м с отметкой подошвы 69,5 м БС.

Анализируя данные разреза можно сделать вывод, что скорость вертикального размыва имела ярко выраженный дискретный характер. На трудноразмываемых участках вертикальная эрозия резко замедлялась и составляла тысячи лет, далее мощные слои супесей размывались в течение столетий, выносимый материал давал реке возможность строить ниже по течению пойменные и надпойменные террасы.

После размыва суглинков при достижении отметок 72,0 м, скорость размыва опять возросла и на рассматриваемом участке за несколько столетий вертикальная эрозия могла достигнуть 7 м.

В соответствии с другой гипотезой русло в течение всего времени существования реки располагалось примерно на том же месте, постепенно врезаясь в подстилающие грунты. Левобережные притоки также впадали в этих же местах. Однако верховье притока, впадающего выше д. Петихино (руч. Петихинский), в прошлом принадлежало притоку, впадающему ниже д. Полтораново (руч. Полторановский) (рисунок 5). Поскольку руч. Петихинский располагается практически перпендикулярно долине р. Порусьи, по мере опускания базиса эрозии уклоны его русла существенно увеличивались. Соответственно, возрастал его эрозионный потенциал. В результате пятящейся эрозии вершина его вреза достигла русла руч. Полторановского и произошел перехват верховьев этого ручья. Не получая притока, его русло в этом месте деградировало и практически не выражено в настоящее время в рельефе.

Авторы планируют продолжить полевые исследования на р. Порусье, в том числе, выполнить проверку выдвинутых гипотез.

Выводы

Скорость вертикальных деформаций р. Порусья в районе д. Минцево по разным оценкам составила за 80-90 лет от 1 до 3,5 м.

В отношении развития р. Порусья в районе д. Петихино выдвинуто две гипотезы, согласно одной из которых величина вреза русла могла достигать 10 м за 300 лет.

Литература

Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Геогр. фак. МГУ, 2012. 163 с.

Виноградов А.Ю., Обязов В.А., Кадацкая М.М. История формирования рек южного Приильменья в голоцене // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 1. С. 90-113. DOI: 10.34753/HS.2019.1.1.001

Геология СССР. В 48 томах. Том I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 504 с.

Земцов А.А. Основные этапы развития речных долин Западно-Сибирской равнины // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель: в 3 кн. Книга 2. Западная Сибирь и Средняя Азия / Отв. ред. Н.А. Флоренсови, В.А. Николаев. Новосибирск: Наука, 1979. С. 82-85.

Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 279 с.

Короновский Н.В. Общая геология: учебник. М.: КДУ, 2006. 528 с.

References

Berkovich K.M. *Ruslovye protsessy na rekakh v sfere vliyaniya vodokhranilishch [Riverbed processes in rivers influenced by reservoirs]*. Moscow, Publ. Faculty of Geography MSU, 2012. 163 p. (In Russian; abstract in English).

Geologiya SSSR. V 48 tomakh. Tom 1. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisanie. [*Geology of the USSR*. In 48 volumes. Volume 1. Leningrad, Pskov and Novgorod regions. Geological description] / A.V. Sidorenko (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1971. 504 p. (In Russian).

Gorlach A., Hang T., Kalm V. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus. *Boreas*, 2017, vol.46, iss.3, pp. 486-502. DOI: 10.1111/bor.12223.

Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, iss.1, pp. 1-45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Koronovskii N.V. *Obshchaya geologiya [General geology]*. Moscow, Publ. book house University, 2006. 528 p. (In Russian).

Kvasov D.D. *Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennikh morei Vostochnoi Evropy [Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe]*. Leningrad, Publ. Nauka, 1975. 279 p. (In Russian).

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Геогр. фак. МГУ, 2003. 353 с.

Никонов А.А. С какой скоростью врезаются реки? // Природа. 1971. № 11. С. 79-82.

Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2007. № 1 (2). С. 111-120.

Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // Boreas. 2016. Vol. 45. Iss. 1. P. 1-45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Gorlach A., Hang T., Kalm V. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus // Boreas. 2017. Vol. 46. Iss. 3. P. 486-502. DOI: 10.1111/bor.12223.

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using ^{10}Be // Quaternary Science Reviews.

Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine [River bed and erosion in its basin]*. M Moscow, Publ. Faculty of Geography MSU, 2003. 353 p. (In Russian).

Nikonov A.A. S kakoi skorost'yu vrezayutsya reki? [What is the speed of the river incision?]. *Priroda [Nature (Russia)],* 1971, no. 11, pp. 79-82. (In Russian).

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using ^{10}Be. *Quaternary Science Reviews*, 2018, vol. 200, pp. 106-113. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.09.032

Subetto D.A. Istoriya formirovaniya Ladozhskogo ozera i ego soedineniya s Baltiiskim morem [The history of the formation of Lake Ladoga and its connection with the Baltic Sea]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana)* [*Society. Environment. Development (Terra Numana)*], 2007, no 1 (2), pp. 111-120. (In Russian).

Vinogradov A.Yu., Obyazov V.A., Kadatskaya M.M. History of formation of the rivers of south Prilimenium in holotsen. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 1, pp. 90-113 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.1.001

Zemtsov A.A. Osnovnye etapy razvitiya rechnykh dolin Zapadno-Sibirskoi ravniny [The main stages of development of river valleys of the West Siberian Plain]. In N.A. Florensovi, V.A. Nikolaev (eds.), *Istoriya razvitiya rechnykh dolin i problemy melioratsii zemel': v 3 kn. Kniga 2. Zapadnaya Sibir' i Srednyaya*

2018. Vol. 200. P. 106-113. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.09.032

Aziya [History of the development of river valleys and land reclamation problems: in 3 books. Book 2. Western Siberia and Central Asia]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 1979, pp. 82-85. (In Russian).

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

METHODOLOGY AND RESEARCH METHODS

УДК 556.53 DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.003

МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ

М.Л. Марков[1], Е.В. Гуревич[1], А.Ю. Виноградов[2]

[1]Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия;
[2]ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия
2014mml@gmail.com

MINIMUM FLOW OF RIVERS OF THE BLACK SEA COAST OF THE RUSSIA

Mikhail L. Markov[1], Elena V. Gurevich[1], Alexey Yu. Vinogradov[2]

[1]State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia; [2]Scientific and Industrial Research Association Gidrotehproekt, Valday, Russia
2014mml@gmail.com

Аннотация. На реках Черноморского побережья России в настоящее время функционирует всего 8 гидрологических постов. Десятки рек региона не освещены данными наблюдений, что осложняет расчеты минимального стока рек для решения вопросов охраны и использования водных ресурсов. Цель работы заключается в определение характеристик минимального стока неизученных рек Черноморского побережья и выявлении его пространственной неоднородности.

В исследованиях использованы данные наблюдений на 24 постах Росгидромета (действующих и закрытых за период 1926-2011 гг.) и результаты летних меженных гидрометрических

Abstract. There are currently only 8 hydrological posts on the rivers of the Black Sea coast of Russia. Dozens of rivers in the region are not covered by observational data, making it difficult to calculate the minimum flow of rivers to address the protection and use of water resources. The aim of the work is to determine the characteristics of the minimum flow of unexplored rivers of the Black Sea coast and to identify its spatial heterogeneity.

The studies use observation data at 24 posts of Roshydromet (active and closed in the period 1926-2011) and results of summer intergenerational hydrometric surveys carried out in 2007 and 2008 by the State Hydrological Institute on 44 rivers.

Markov M.L., Gurevich E.V., Vinogradov A.Yu. Minimum flow of rivers of the black sea coast of the Russia. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 408-425 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.003

съемок, выполненных в 2007 и 2008 гг. Государственным гидрологическим институтом на 44 реках.

В качестве основных расчетных характеристик для района приняты минимальный в году 10-ти суточный и суточный расходы воды. Расчет минимального стока неизученных рек выполнен на основе данных эпизодических измерений и результатов наблюдений на постах Росгидромета.

Установлено, что до средней высоты водосбора около 700 м минимальные средние 10-ти суточные расходы воды изменяются в небольшом диапазоне (до 3 л/с·км^2). С повышением высоты местности выше 700 м в речных бассейнах наблюдается заметный рост минимального речного стока. Выполнено географо-гидрологическое районирование территории по минимальному 10-ти суточному стоку рек. При районировании выделены 4 основных района и 2 подрайона с разными физико-географическими и гидрогеологическими условиями формирования минимального стока рек.

Оценена повторяемость маловодных лет – числа случаев минимального стока рек вероятностью превышения ≥80 %. Наиболее часто повторяющаяся категория маловодных лет – «одиночный год» (≈78% случаев). Неблагоприятная гидрологическая ситуация складывается, когда маловодные летние периоды повторяются через 1-2 года или два-три года подряд. В

A minimum of 10 daily and daily water consumption per year has been adopted as the main design characteristics for the area. The calculation of the minimum drain of unexplored rivers is made on the basis of the data of occasional measurements and the results of observations at the posts of Roshydromet.

It has been found that up to an average catchment height of about 700 m, the minimum average 10-daily water flow rates vary in a small range (up to 3 l/s·km^2). With the elevation of the terrain rising above 700 m, there is a marked increase in minimal river runoff in river basins. Geographical and hydrological zoning of the territory by the minimum 10-day river flow was performed. During zoning 4 main areas and 2 sub-districts with different physical-geographical and hydrogeological conditions of formation of minimum river flow have been identified.

The repeatability of shallow years - numbers of cases of the minimum drain of the rivers the probability of excess of ≥80% is estimated. The most often repeating category of shallow years – "single year" (≈78% of cases). An unfavourable hydrological situation occurs when low-water summer periods are repeated after 1-2 years or two-three years in a row. These years tend to see low winter intergenerational and spring floorage.

эти годы, как правило, наблюдаются низкие зимняя межень и весеннее половодье.

Ключевые слова: реки Черноморское побережье России; минимальный сток рек; статистические расчеты; измеренные расходы воды; районирование; повторяемость маловодий

Keywords: rivers of the Black sea coast of Russia; unexplored rivers, minimum river flow; statistical calculations; measured water consumption; zoning; repeatability of low water

Введение

Минимальные расходы воды, определяющие собой водные ресурсы рек в самое маловодное время года, представляют большой практический интерес. Они учитываются при решении разнообразных водохозяйственных задач: водоснабжение населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также при разработке мероприятий по охране водных ресурсов. В настоящее время перечисленные задачи чрезвычайно актуальны для Черноморского побережья России. Здесь в последние два десятилетия ведется активное строительство рекреационных, спортивных и лечебно-оздоровительных объектов. Поэтому увеличивается водопотребление и, соответственно, антропогенная нагрузка, особенно на малые реки[1]. Вместе с тем, изученность минимального стока многих рек этого района не позволяет получить надежные расчетные гидрологические характеристики для обеспечения устойчивого водопользования и разработки мероприятий по охране водных объектов, на большинстве которых нет гидрологических наблюдений. Стационарные наблюдения за гидрологическим режимом рек проводились нерегулярно, в разные периоды менялось количество постов и они неравномерно распределены по территории. Всего в разные годы действовало 34 поста наблюдений, входящих в государственную сеть наблюдений. В настоящее время функционирует 8 постов наблюдений. Поэтому являются актуальными вопросы расчета минимального стока рек при отсутствии данных наблюдений, учитывающих пространственные особенности его формирования в горах.

По территории Черноморского побережья последние обобщения минимального стока были выполнены при разработке [Пособие …, 1984] с использованием данных до середины 1970-х годов. Приведенные в указанной работе данные не позволяли определять расчетные значения минимального стока многочисленных малых неизученных рек этого района.

[1] Оценка воздействия на окружающую среду по теме «Разработка проекта СКИОВО бассейнов рек Черного моря». Краснодар: 2010. 44 с.

Поэтому основная цель данной работы заключалась в определение характеристик минимального стока рек Черноморского побережья и выявлении его пространственной неоднородности на основе привлечения дополнительных данных к данным наблюдений на постах Росгидромета – меженных гидрометрических съемок, выполненных в Государственном гидрологическом институте (далее – ФГБУ «ГГИ»).

Материалы и методы исследования

Для достижения цели решались следующие задачи: расчет многолетних характеристик минимального стока рек в пунктах наблюдений, выполнение меженной гидрометрической съемки на малых неизученных реках, оценка пространственного распределения характеристик минимального стока и анализ повторяемости минимальных расходов воды редкой вероятности превышения.

Посты Росгидромета расположены на равнинных или предгорных участках сравнительно больших рек Черноморского побережья России. Наблюдения на них проводились нерегулярно, в разные периоды менялось количество постов. Для анализа изменений многолетнего режима минимального стока рек использованы данные наблюдений на 24 постах Росгидромета, расположенных в разных районах Черноморского побережья. Продолжительность периода наблюдений изменяется от 2 до 85 лет за совместный период 1926-2011 гг., на 17 постах наблюдения велись более 10 лет.

В качестве основных расчетных характеристик для района приняты минимальный в году 10-ти суточный и суточный расходы воды, так как на исследуемой территории редко бывают периоды более 10-ти суток без выпадения осадков, или интенсивного таяния снежного покрова и ледников в горах [Владимиров, 1970]. Использование же в территориальном обобщении характеристики минимального 30-суточного стока не исключает влияния паводков, что не только завышает эту величину, но и обуславливает генетическую неоднородность минимального стока разных по водности лет, то есть сочетание различных вкладов подземных и поверхностных вод в формирование минимального стока рек.

По результатам наблюдений на постах Росгидромета выполнен расчет минимального в году 10-ти суточного и суточного стока рек с периодом наблюдений более 10 лет (для 17 постов). Определение расчетных минимальных расходов воды рек произведено согласно

требованиям СП 33-101-2003[2]. В процессе статистической обработки рядов минимального стока выполнялась проверка данных на однородность (оценка экстремальных значений по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса) и станционарность (по критериям Стьюдента и Фишера). Из 17 постов с периодом наблюдений более 10 лет 9 пунктов имеют статистически неоднородные ряды. Для минимального стока рек вопрос неоднородности рядов наблюдений не имеет существенного значения, поскольку уже сама методика определения минимального периода предусматривает выделение генетически однородных величин стока. Если в продолжение всего сезона на реке проходят частые паводки, то соблюсти указанный принцип выделения периодов минимального стока невозможно и однородность ряда наблюдений нарушается. Минимальный сток в такие годы, как правило, наибольший. Его эмпирическая обеспеченность весьма мала, а соответствующие точки на клетчатке вероятностей отклоняются резко вверх от общего направления. Поэтому при наведении эмпирических кривых распределения вероятностей такие сильно отклоняющиеся точки учитывать нецелесообразно, тем более что при расчетах минимального стока верхняя часть кривой обеспеченности не представляет практического интереса, поскольку отражает наиболее благоприятные случаи в отношении водообеспечения. Но значительно отклоняющиеся точки в нижней части кривой обеспеченности после проверки их надежности и с учетом длительности ряда наблюдений, необходимо полностью учитывать. Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Режимные гидрологические посты на реках Черноморского побережья расположены крайне неравномерно и без учета гидрологических особенностей изучаемых районов. Поэтому для получения дополнительной информации по неизученным малым рекам и уточнения пространственной неоднородности минимального стока по рассматриваемой территории были выполнены в 2007 и 2008 гг. ФГБУ «ГГИ» две меженные гидрометрические съемки в 44 пунктах на реках, расположенных от г. Анапы до г. Адлера. Перечень рек с определенными площадями и средними высотами водосборов, а также результаты измерений расходов воды приведены в таблице 3.

[2] СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М. Госстрой РФ, 2004. (далее – СП 33-101-2003)

Таблица 1. Минимальный 10-ти суточный расход воды по постам Росгидромета

Table 1. Minimum 10-day water consumption at Roshydromet stations

№	Река-пост	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км^2	Период наблюдений	Число лет наблюдений	Средний многолетний расход воды, м^3/с	Cv	Cs/Cv	Расходы воды различной вероятностью превышения, м^3/с		
									80%	90%	95%
1	р. Гастогай – ст-ца Гастогаевская		106	1951-2000, 2009, 2010	50	0,032	1,04		0	0	0
2	р. Дюрсо – п. Абрау-Дюрсо	190	51,9	1948-76	29	0,047	0,55	2,0	0,025	0,018	0,017
3	р. Адебра – п. Светлый		59,7	1966-96	24	0,053	0,53	-1	0,03	0,006*	0*
4	р. Вулан – п. Архипо-Осиповка	240	265	1948-2002, 2009, 2010	56	0,29	0,65	2,5	0,14	0,097	0,071
5	р. Туапсе – г. Туапсе	390	351	1937-99, 2009, 2010	51	0,42	0,92		0,11*	0*	0*
6	р. Аше – п. Аше	570	282	1955-89	33	1,05	0,91	2	0,27	0,12	0,012
7	р. Куапсе – ущелье Мамедова Щель	380	14,6	1946-2010	57	0,034	0,78	2,5	0,013	0,009	0,007
8	р. Пзезуапсе – с. Татьяновка	760	255	1955-91	36	1,41	0,34	-1	1,01	0,79	0,59
9	р. Шахе – с. Солох-аул	1010	423	1936-2010	67	6,27	0,34	4	4,43	3,93	3,61
10	р. Псий – с. Тух-аул	700	20,4	1946-87	41	0,19	0,42	1	0,10*	0,08*	0,068
11	р. Западный Дагомыс – п. Дагомыс	380	49	1974-2006, 2009	32	0,19	0,62	1,5	0,09	0,05	0,027
12	р. Сочи – с. Пластунка	840	238	1936-2011	72	3	0,33	2	2,16	1,8	1,55
13	р. Сочи – г. Сочи	720	296	1936-2010	72	2,04	0,59	0	1,03	0,51	0,08
14	р. Хоста – п. Хоста	410	98,5	1936-2011	71	1,2	0,37	1	0,82	0,65	0,57*
15	р. Мзымта – п. Красная поляна	1670	510	1945-2003, 2011	59	9,5	0,19	3	7,9	7,21	6,7
16	р. Мзымта – п. Кепш	1380	798	1936-67	32	13,3	0,28		8,7*	8,3*	8,25*
17	р. Мзымта – п. Казачий брод	1340	839	1967-2010	40	17,5	0,3	1,5	13,1	11,1	6,86*

Примечание: * – значение снято с эмпирической кривой обеспеченности

Таблица 2. Минимальный суточный расход воды по постам Росгидромета

Table 2. Minimum daily water consumption at Roshydromet stations

№	Река-пост	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км^2	Период наблюдений	Число лет наблюдений	Средний многолетний расход воды, м^3/с	Cv	Cs/Cv	Расходы воды различной вероятностью превышения, м^3/с		
									80%	90%	95%
1	р. Гастогай – ст-ца Гастогаевская		106	1951-2000, 2009, 2010	50	0,02	1,32		0	0	0
2	р. Дюрсо – п. Абрау-Дюрсо	190	51,9	1948-76	29	0,045	0,59	2	0,022	0,015	0,01
3	р. Адебра – п. Светлый		59,7	1966-96	24	0,04	0,71		0,06	0	0
4	р. Вулан – п. Архипо-Осиповка	240	265	1948-2002, 2009, 2010	56	0,26	0,80	2	0,09	0,047	0,018
5	р. Туапсе – г. Туапсе	390	351	1937-99, 2009, 2010	50	0,23	1,1		0*	0*	0*
6	р. Аше – п. Аше	570	282	1955-89	33	0,86	1,07	2,5	0,17	0,13	0,101
7	р. Куапсе – ущелье Мамедова Щель	380	14,6	1946-2010	57	0,027	0,79	2	0,01	0,005	0,003
8	р. Пзезуапсе – с. Татьяновка	760	255	1955-91	36	1,22	0,37	0	0,84	0,65	0,49
9	р. Шахе – с. Солох-аул	1010	423	1926-2010	77	5,42	0,28	2,5	4,1	3,6	3,21
10	р. Псий – с. Тух-аул	700	20,4	1946-87	41	0,17	0,39	1	0,09*	0,08*	0,067
11	р. Западный Дагомыс – п. Дагомыс	380	49	1974-006, 2009	32	0,13	0,77	1,5	0,051	0,022	0,003
12	р. Сочи – с. Пластунка	840	238	1927-2011	81	2,65	0,29		1,7*	1,52*	1,37
13	р. Сочи – г. Сочи	720	296	1936-2010	72	1,61	0,66	1	0,71	0,32	0,043
14	р. Хоста – п. Хоста	410	98,5	1936-2011	68	1,07	0,37	0,5	0,74	0,57	0,44
15	р. Мзымта – п. Красная поляна	1670	510	1945-2003, 2011	59	8,7	0,18	2	7,37	6,75	6,25
16	р. Мзымта – п. Кепш	1380	798	1936-67	31	12,1	0,27		8,22*	7,27*	7,11*
17	р. Мзымта – п. Казачий брод	1340	839	1967-2010	40	14,7	0,38		7,83*	6,64*	5,0*

Примечание: * -значение снято с эмпирической кривой распределения

Таблица 3. Измеренные расходы воды в меженные периоды 2007 и 2008 годов

Table 3. Measured water consumption in the 2007 and 2008 interannual periods

Водоток	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км^2	**2007 год**		**2008 год**	
			Дата	м^3/с	Дата	м^3/с
Левый приток Бешенки (ГЭС)	1534	3,64	19.10	0,13		
Бешенка (у моста)	1393	4,89	19.10	0,005		
Левый приток Бешенка (а/мост)	1381	6,3	19.10	0,19	20.10	0,42
Правый приток Бешенки (0,1 км от левого)		6			20.10	0,088
Бешенка – ниже моста 200м	1327	13,7	19.10	0,34	20.10	0,56
Бешенка – у водозабора	1293	14,8	19.10	0,27		
Ачипсе – устье		141,2			20.10	9,49
Ачипсе – кордон Лаура (р-н гм/поста)	1520	135,17	19.10	3,74		
Хоста – г. Хоста	410	94,85	20.10	1,11	20.10	3,9
Сочи – п. Пластунка	840	249,9	20.10	3,17	20.10	11,4
Кудепста у старого а/д моста	372	86,1	20.10	0,23	21.10	0,96
Мацеста у а/м моста	344	68,7	20.10	0,22	21.10	0,76
Хобза у а/м моста	253	21,42	20.10	0,06	21.10	0,37
б/н – у въезда в с. Солоники у а/м	367	1,9	20.10	0,005		
Чухухт у а/м моста	389	14,4	20.10	0,061	21.10	0,17
Цусхведж у а/м моста	474	28,1	20.10	0,096	21.10	0,28
Неожиданная у а/м моста		9,36			21.10	0,04
Макопсе у а/м моста	372	39	21.10	0,054	21.10	0,24
Водопадный у а/м моста	225	2,3	21.10	0,0002	21.10	0
Вишневая у а/м моста		3,5			21.10	0,0035
Шуюк у а/м моста	342	10,9	21.10	0,019	21.10	0,037
Магри у а/м моста	191	4,33	21.10	0,0001	21.10	0,0035
Туапсе – Индюк	386	78,2			22.10	1,66
Туапсе – п.Индюк у ж.д.моста	386	111,5	21.10	0,095		
Туапсе – проезд под ж.д ниже ПЦ		240,5			22.10	3,10
Туапсе – 4км от ГЭС вверх по теч.	398	313,7	21.10	0,38		
Кабак у а/м моста	267	21,9			22.10	0,06
Ту у а/м моста	282	18,2			22.10	0,079
Бжид у а/м моста	213	7,35	21.10	0,007	22.10	0,020
Тешебс у а/м моста	233	13,47	21.10	0,004	22.10	0,0035
Текос – Архипо-Осиповка	224	86,8	21.10	0,043	22.10	0,23
Бетта у а/м моста		23,8			22.10	0
Аберда – п. Светлый		59,7			22.10	0
Хотецай – п. Джанхот	219	11,7	22.10	0,002	22.10	0,007
Джанхот – д. Прасковеевка	283	34,1	22.10	0,011	22.10	0,021
Джанхот – устье		49,3			22.10	0,013
Широкая Балка у а/м моста	205	15,3	23.10	0	22.10	0,0025
Озерейка у а/м моста		70,2	22.10	0,005	22.10	0,006
Дюрсо у а/м моста	194	51,9	22.10	0,031	22.10	0,003
Сукко у а/м моста	189	87,6	22.10	0,037	22.10	0,020
Деберкай у а/м моста	413	17,2			22.10	0,013
Шепси (150 м выше а/м моста)	365	54,5	21.10	0,039	22.10	0,14
Дедерка у а/м моста	413	17,2	21.10	0,013		
Шахе – Солох-аул	423				22.10	10,0

Одновременно с измерениями стока на неизученных реках выполнены измерения расходов воды на постах Росгидромета с длительным периодом наблюдений, расположенных на реках Хоста, Сочи, Дюрсо. Это позволило определить водность периода проведения гидрометрической съемки по отношению к её многолетней изменчивости и осуществить приводку эпизодических измерений стока к расчетным значениям в соответствии с методикой, изложенной в работе[3]. Метеорологические условия проведения меженной гидрометрической съемки более благоприятные были в 2007 г, когда в течение сентября и октября почти не выпадали осадки (за исключением верховьев р. Мзымты). В 2008 г. дожди в период межени проходили периодически и на разных водосборах. Поэтому в приведении эпизодических данных измерений расходов воды к многолетним характеристикам использованы в основном результаты 2007 г., а результаты съемки 2008 г. использованы для корректировки оценки стока рек при районировании.

Результаты и обсуждения

По данным многолетних наблюдений на постах Росгидромета выполнен расчет минимального 10-ти суточного и суточного стока рек – среднего многолетнего; 80%, 90% и 95%-ной вероятностей превышения. Расчет стока неизученных рек выполнен по графикам связи измеренных расходов воды со средними многолетними, 80% и 95%-ной вероятности превышения минимальными 10-ти суточными расходами воды на реках-аналогах (постах Росгидромета) с коэффициентом корреляции 0,9. Результаты расчета характеристик минимального 10-ти суточного стока приведены в таблице 4.

[3] Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб: Нестор-История, 2009. 194 с.

Таблица 4. Минимальный 10-ти суточный расход воды

Table 4. Minimum 10-day water consumption

Водоток	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км^2	Измеренный расход воды, м^3/с	Расход воды, м^3/с		Модуль, л/(с·км^2)	
				средний многолетний	95%-ной вероятности превышения	средний многолетний	95%-ной вероятности превышения
Левый приток Бешенки (ГЭС)	1534	3,64	0,13	0,133	0,064	36,4	17,7
Правый приток Бешенки у моста (стоянка а/м)	1381	6,3	0,19	0,194	0,094	30,8	14,9
Бешенка – ниже моста 350м осн. русло после впадения притоков справа	1327	13,65	0,34	0,347	0,168	25,4	12,3
Бешенка – у водозабора	1293	14,7	0,27	0,275	0,134	18,6	9,0
Ачипсе – кордон Лаура (р-н гм/поста)	1520	135,1	3,74	3,81	1,85	28,2	13,7
Кудепста у а/м (город)	372	86,1	0,23	0,235	0,114	2,7	1,3
Мацеста у а/м моста	344	68,7	0,22	0,224	0,109	3,3	1,6
Хобза у а/м моста	253	21,42	0,06	0,061	0,030	2,9	1,4
Чухухт у а/м моста	389	14,41	0,061	0,062	0,030	4,3	2,1
б/н -у въезда в с.Солоники у а/м	367	1,9	0,005	0,005	0,002	2,7	1,3
Цусхведж у а/м моста	474	28,0	0,096	0,098	0,048	3,5	1,7
Макопсе (выше а/м дороги)	372	39	0,054	0,055	0,027	1,4	0,7
Шуюк у а/м моста	342	10,9	0,019	0,019	0,009	1,8	0,9
Водопадный у а/м моста	225	2,3	0,0002	0	0	0,1	0
Магри (у поста ГАИ)	191	4,33	0,0001	0	0	0	0
Шепси (150м выше а/м моста)	365	54,4	0,039	0,040	0,019	0,7	0,4
Дедерка у а/м моста	413	17,2	0,013	0,013	0,006	0,8	0,4
Кабак у а/м моста	267	21,8		0	0	0	0
Ту у а/м моста	282	18,2		0	0	0	0
Бжид у а/м моста	213	7,35	0,007	0,007	0,003	1,0	0,5
Тешебс	233	13,4	0,004	0,004	0,002	0,3	0,1
Текос на выезде из Архипо-Осиповки	224	86,7	0,043	0,044	0,021	0,5	0,2
Хотецай – п. Джамхот у а/м моста	219	11,7	0,002	0,002	0,001	0,2	0,1
Джанхот – п. Прасковецкий	283	34,1	0,011	0,011	0,005	0,3	0,2
Озерейка – п. Глебовка	165	32,4	0,005	0,005	0,002	0,2	0,1
Дюрсо	194	51,9	0,031	0,032	0,015	0,6	0,2
Сукко – п. Сукко у а/м моста	189	87,6	0,037	0,038	0,018	0,4	0,2
Широкая Балка – устье	205	15,3	0	0	0	0	0

В распределении величин минимального стока рек по территории Черноморского побережья отмечены закономерности, имеющие общий характер, вытекающий из высотной зональности. Особенностью формирования минимального стока рек Черноморского побережья России является увеличение меженного стока с запада на юго-восток, что связано с изменением общей обводненности территории в этом направлении. Влияние гидрогеологического и климатического факторов проявляется при анализе величин и характера изменения низкого стока рек с высотой местности. Установлено, что до высоты водосбора около 700 м минимальные средние 10-ти суточные расходы воды изменяются в небольшом диапазоне (до 3 л/с·км^2). С повышением высоты местности выше этой отметки в речных бассейнах наблюдается заметный рост минимального речного стока, закономерно обусловленный ростом глубины эрозионного вреза русла и, соответственно, увеличением объемов дренирования реками бассейнов подземных вод, питание которых зависит от инфильтрации атмосферных осадков, растущих с высотой.

Полученная зависимость речного стока в маловодный период от средней высоты водосбора (рисунок 1) и увеличение речного стока с запада на восток взяты за основу географо-гидрологического районирования территории по минимальному 10-ти суточному стоку рек 80%-ной вероятности превышения.

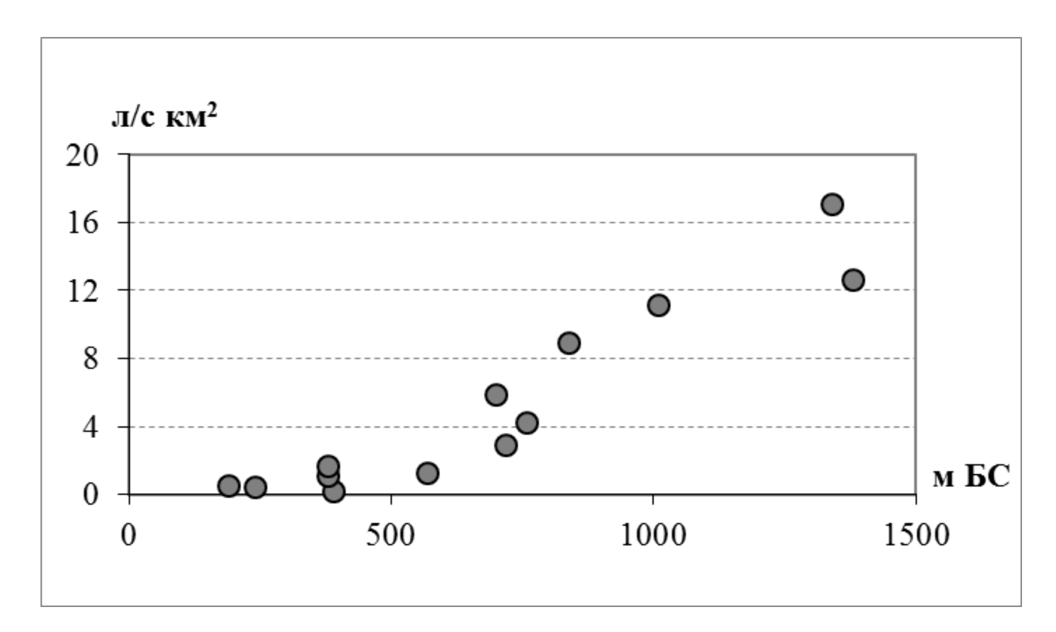


Рисунок 1. Графики связи модуля минимального 10-ти суточного стока рек 80%-ной вероятности превышения ($M_{10\text{-сут } 80\%}$) со средней высотой водосбора ($H_{ср}$)

Figure 1. Graphs of the connection module of the minimum 10-day river flow 80% probability of exceeding ($M_{10\text{-day } 80\%}$) with an average catchment height of (H_{av})

В результате серий расчетов по определению площадей и средних высот водосборов на измеренных реках, расчетов обеспеченных значений стока рек на постах Росгидромета и измеренных реках по методике из работы[4] был получен набор данных по 45 пунктам.

На первом этапе районирования было выполнено выделение районов по однотипности физико-географических и климатических условий формирования стока рек. Второй этап включал в себя корректировку границ районов и выделение подрайонов с учетом пространственного изменения величины модулей речного стока. Так как большая часть территории не была охвачена полевыми работами, полученная связь $M_{10\text{-сут } 80\%}=f(H_{ср})$ была использована для оценок пространственного изменения величин стока необследованных рек путем определения их средней высоты водосбора. Неоднородность рельефа и высотно-климатическая зональность являются причинами существенных отличий в условиях формирования стока рек Черноморского побережья. Широкий диапазон изменений модулей минимального стока рек из-за сложности гидрогеологических и гидрографических условий горных районов и их слабая гидрологическая изученность не позволяет выполнить детальное районирование территории способом изолиний. Поэтому районирование произведено способом количественного фона [Топчилов, Ромашова, Николаева, 2009]. Проведение границ районов осуществлялось с учетом границ водоразделов и высоты местности, а также исходя из гидрологической изученности территории.

Согласно с п. 7.63 в СП 33-101-2003 «в горных районах минимальный сток следует определять по графической зависимости модуля минимального 30-суточного стока от средней высоты водосбора. Дополнительным параметром для водосборов со средней высотой до 2 500 м может служить площадь водосбора». Как показал анализ исходной информации по изученным рекам удовлетворительная связь минимального стока с площадью водосбора отсутствует. Сравнение результатов расчета минимального 10-ти суточного стока для неизученных рек, выполненного по его связи со средней высотой водосбора на изученных реках (рисунок 1) с расчетами, в которых учтены эпизодические измерения меженных расходов воды, показало на существенное уточнение (в 1,5-2 раза) характеристик минимального стока на неизученных реках.

Полученные результаты расчетов по данным гидрологических наблюдений на постах Росгидромета и меженных гидрометрических съемок позволили выполнить районирование

---

[4] Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб: Нестор-История, 2009. 194 с.

территории по величине модулей минимального в году 10-ти суточного стока рек 80%-ной вероятности превышения (рисунок 2).

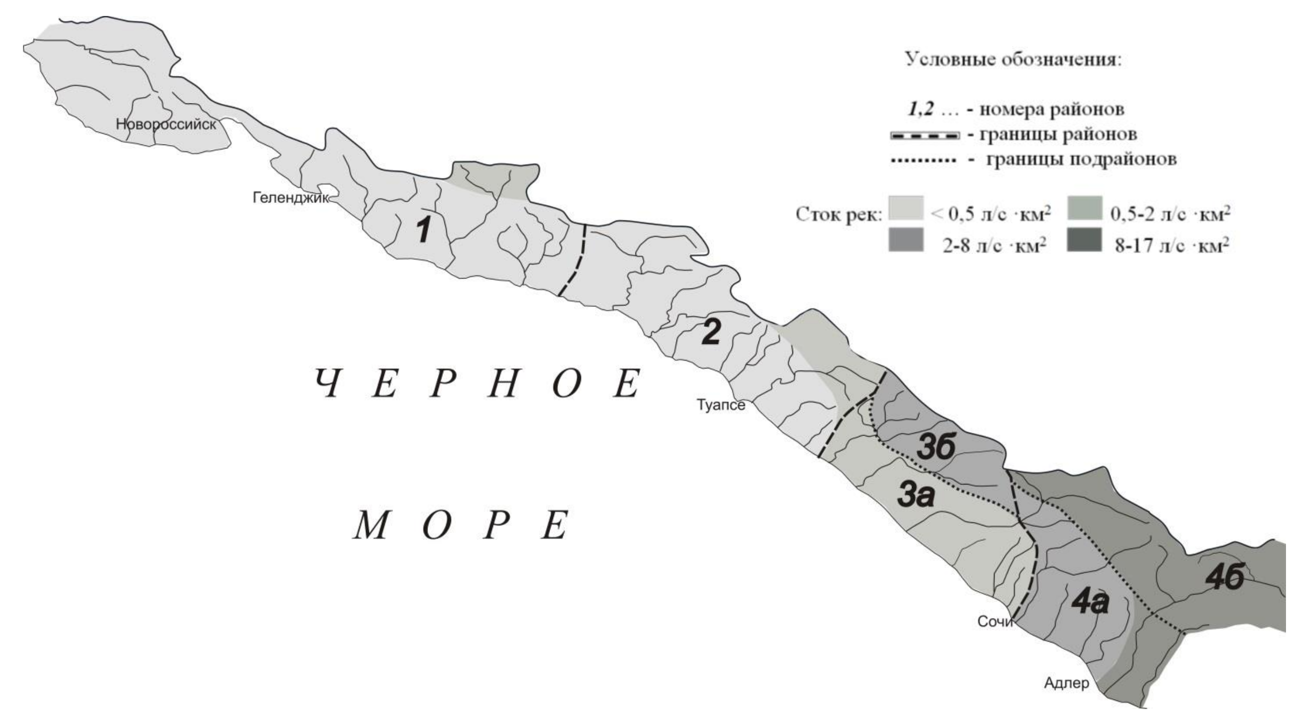


Рисунок 2. Районирование территории по минимальному в году 10-ти суточному стоку рек 80%-ной вероятности превышения (л/с·км^2)

Figure 2. Zoning of the territory by the minimum annual 10-day river flow of 80% probability of exceeding (l/s·km^2)

Всего на территории было выделено 4 района, разделенные на две высотные зоны по высоте местности до 700 м и выше. Большие величины минимального стока рек наблюдаются в высокогорных районах. Ниже приводится краткое описание гидрологических районов и оценка их водообильности из работ [Гидрогеология СССР, 1968; Клименко, 1979; Гуревич, Виноградов, 2009].

Район 1 занимает узкую полосу вдоль Черного моря – от р. Сукко до междуречья рек Небуг и Агой. Район отличается низкими величинами атмосферных осадков и значительным испарением. Годовое количество осадков изменяется от 400 до 1000 мм. В режиме осадков выделяется зимний максимум. Здесь характерна летне-осенняя межень. Модуль минимального стока рек в маловодные годы составляет обычно меньше 0,5 л/с·км^2. Коэффициент вариации (C_v) минимального 10-ти суточного стока изменяется в большом диапазоне 0,5-1,1, что свидетельствует о неравномерном питании рек.

Район 2 занимает низкогорную часть рассматриваемой территории, которая отличается достаточно низкой обводненностью по сравнению с высокогорными районами. Доля меженного стока от общего речного составляет около 1%. Коэффициент вариации (C_v) минимального 10-ти суточного стока изменяется от 0,8 до 1,0. Территория района является пограничной между двумя климатическими зонами: субтропического средиземноморского типа и субтропического влажного.

Причиной формирования этих двух различных типов климата является рельеф, точнее – высота гор. До города Туапсе их высота не поднимается выше 1000 м, и они не являются серьезным орографическим барьером для влагонесущих потоков воздушных масс с юго-запада. После Туапсе высота гор достигает 3000 и более метров. На западных наветренных склонах гор этого района весь год выпадает большое количество осадков [Клименко, 1979; Гуревич, Виноградов, 2009]. Однако, причиной малой водности рек Туапсинского района являются не только высотный фактор, но и влияние интенсивной эксплуатации ресурсов подземных вод на Туапсинском и Сочинском водозаборах. В результате водохозяйственных мероприятий с середины 60-х годов прошлого века здесь наблюдалось снижение уровней подземных вод, вследствие чего в летнее время происходило соединение депрессионных воронок обоих водозаборов и образование общей депрессионной воронки, снижающей речной сток [Клименко, 1979].

Район 3 – междуречье р. Шепси и р. Сочи. Эта часть побережья является более увлажненной. Годовое количество осадков колеблется от 1500 до 2300 мм. Восточнее Туапсе диапазон высот больше, поэтому в районе 3 выделены предгорная зона с высотой до 700 м (район 3а) и горная зоны со средней высотой водосбора более 700 м (район 3б). Как и в районах 1 и 2, реки района имеют смешанное питание при преобладании атмосферного. Модуль минимального 10-ти суточного стока 80%-ной вероятности превышения в предгорном районе составляет 1-2 л·с/км^2, C_v =0,3-0,7. В горном районе наблюдается его увеличение до 8 л/с км^2.

Район 3, разделенный на две основные высотные зоны, в целом характеризуется повышенным подземным питанием рек. Хорошо развитая дренирующая гидрографическая сеть и интенсивная трещиноватость создают здесь наиболее благоприятные условия питания рек подземными водами в маловодный период. Коэффициент вариации минимального стока рек здесь низкий – 0,2-0,3 и изменяется в небольшом диапазоне. Из-за разнообразия климатических и физико-географических условий сроки наступления и продолжительность меженного периода на реках различны.

В низко- и среднегорной части района 4 – междуречье р. Сочи и р. Псоу, преобладает летне-осенняя межень с $M_{10\text{-сут } 80\%}$=3-9 л·с/км^2. В пределах Большого Сочи, в междуречье Мацеста-Хоста располагается Ахунский карстовый массив. Поэтому режим минимального стока местных рек находится под влиянием карстовых явлений, что выражается в интенсивном поглощении поверхностных вод зонами тектонических нарушений и развития карста. Кроме того, отдельные водосборные бассейны отличаются специфическим рельефом, создающим неравномерность в распределении осадков по территории и значительные различия в увлажнении по отдельным участкам рек. Для высокогорной части бассейна р. Мзымта района 4 характерна осенне-зимняя межень. На хребте Ачишхо выпадает наибольшее количество осадков – до 3200 мм в год, толщина снега достигает 10 м. Снежный покров обычно устанавливается в конце сентября – начале октября и лежит 6-7 месяцев. Среди бассейнов черноморских рек данный район отличается значительным подземным питанием.

Сроки маловодных периодов на реках очень разнообразны [Владимиров, 1970; Wrzesiński, 2015]. Для анализа возможности наступления маловодья на реках и в практике планирования использования водных ресурсов могут возникать вопросы о повторяемости очень маловодных периодов [Шикломанов, 1988; Medeiros, Maia, Medeiros, 2019]. Для района исследований выполнен анализ повторяемости минимальных 10-ти суточных расходов воды вероятности превышения ≥80%. Строгой повторяемости экстремумов минимального стока рек не проявляется, но есть общие тенденции. В целом по территории очень низкий сток рек наблюдался до 1980 года, но отдельные реки выпадают из общего правила. Например, на р. Шахе почти 70% случаев низкой межени проходили после 1980 г. Рисунок 3 показывает повторяемость количества случаев маловодных лет (в %) с расходами воды вероятностью превышения ≥80%, которые наблюдались на реках в отдельный год, через год, 2 года подряд, 3 года подряд.

Полученная величина представляет собой отношение суммарного в группе рек числа случаев минимального стока рек вероятность превышения ≥80 % в данной категории (1 год, 2 года и т.д.) к общему числу случаев низкого стока в реках в межень. Наиболее часто повторяющаяся категория маловодных лет – «одиночный год» (≈78% случаев). Очень редко наблюдаются годы с низкой водностью в категориях 2-3 года подряд (5-8% случаев).

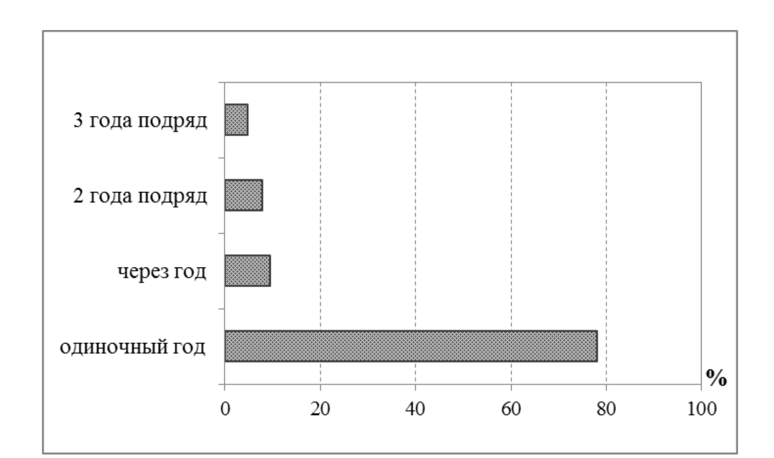


Рисунок 3. Повторяемость минимального 10-ти суточного стока рек вероятностью превышения >80%

Figure 3. Repeatability of minimum 10-day river flow probability of exceeding P>80%

Неблагоприятная гидрологическая ситуация складывается, когда маловодные летние периоды повторяются через 1-2 года или два-три года подряд. В эти годы, как правило, наблюдаются низкие зимняя межень и весеннее половодье.

Заключение

На реках Черноморского побережья в настоящее время функционирует всего 8 гидрологических постов. Десятки рек этого региона не освещены данными наблюдений. Метод аналогии для определения расчетных гидрологических характеристик при отсутствие данных наблюдений здесь использовать сложно, так как природные условия формирования стока, особенно минимального, существенно различаются в горных речных бассейнах.

Отличительные черты в формировании минимального стока на 25 реках района выявлены на основе гидрометрической съемки, выполненной в период устойчивой межени. Использование этих данных позволило уточнить расчетные значения минимального 10-ти суточного стока основных неизученных рек Черноморского побережья.

На основе данных гидрологических наблюдений на постах Росгидромета и результатов меженных гидрометрических съемок выполнено районирование территории по величине модулей минимального в году 10-ти суточного стока 80%-ной вероятности превышения.

Это районирование позволяет оценить пространственное разнообразие стока неизученных рек и получить оценки состояния водных ресурсов в маловодный период. Результаты исследований могут быть использованы при оценке не только минимального стока

неизученных рек, но и для гидрологического обоснования оценки естественных ресурсов подземных вод отдельных речных бассейнов Причерноморья.

Литература

Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 214 с.

Гидрогеология СССР: в 46 т. Том 9: Северный Кавказ / Под ред. Н.А. Григорьева. М.: Недра, 1968. 488 с.

Гуревич Е.В., Виноградов А.Ю. Анализ минимального стока рек Черноморского побережья Кавказа в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой // Естественные и технические науки. 2009. №4(42). С. 175-178.

Клименко В.И, Куканов В.М., Прокофьев С.С. Подземные воды Черноморского побережья Кавказа и их охрана. М: Наука, 1979. 100 с.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.

Топчилов М.А., Ромашова Л.А., Николаева О.Н. Картография: учебно-метод. пособие. Новосибирск: СГГА, 2009. 109 с.

References

Gidrogeologiya SSSR: v 46 t. Tom 9: Severnyi Kavkaz [Hydrogeology of the USSR: in 46 vol. Volume 9: Northern Caucasia]. N.A. Grigor'ev (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1968. 488 p. (In Russian).

Gurevich E.V., Vinogradov A.Yu. Analiz minimal'nogo stoka rek Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza v svyazi s vozrastayushchei antropogennoi nagruzkoi [Analysis of the minimum flow of rivers of the black sea coast of the Caucasus in connection with the increasing anthropogenic load]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]*. 2009, no. 4(42), pp. 175-178. (In Russian).

Klimenko V.I, Kukanov V.M., Prokof'ev S.S. *Podzemnye vody Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i ikh okhrana [Underground waters of the black sea coast of the Caucasus and their protection]*. Moscow, Nauka Publ., 1979. 100 p. (In Russian).

Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [A guide to the determination of calculated hydrological characteristics]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1984. 448 p. (In Russian).

Topchilov M.A., Romashova L.A., Nikolaeva O.N. *Kartografiya [Mapping]*. Novosibirsk, Publ. of SSGA, 2009. 109 p. (In Russian).

Shiklomanov I.A. *Issledovanie vodnykh resursov sushi: itogi, problemy, perspektivy [Land water resources Re-*

Шикломанов И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 152 с.

Medeiros, G.C.S. de, Maia, A.G., Medeiros, J.D.F. de Assessment of Two Different Methods in Predicting Hydrological Drought from the Perspective of Water Demand. Water Resources Management. 2019. Vol. 33. Iss. 5. P. 1851-1865. DOI: 10.1007/s11269-019-02218-7

Wrzesiński D. Stability of high and low flow periods on European rivers. Badania Fizjograficzne. Seria A. Geografia Fizyczna. 2015. Vol. 66. P. 183-194. DOI: 10.14746/bfg.2015.6.14

search: results, problems, prospects]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1988. 152 p. (In Russian; abstract in English).

Medeiros, G.C.S. de, Maia, A.G., Medeiros, J.D.F. de Assessment of Two Different Methods in Predicting Hydrological Drought from the Perspective of Water Demand. *Water Resources Management*, 2019, vol. 33, iss. 5, pp. 1851-1865. DOI: 10.1007/s11269-019-02218-7

Vladimirov A.M. *Minimal'nyi stok rek SSSR [Minimum flow of the rivers of the USSR]*. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1970. 214 p. (In Russian).

Wrzesiński D. Stability of high and low flow periods on European rivers. *Badania Fizjograficzne. Seria A. Geografia Fizyczna*, 2015, vol. 66, pp. 183-194. DOI: 10.14746/bfg.2015.6.14

УДК 556.06:556.166 DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.004

ВОЗМОЖНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПРИТОКА ВОДЫ В БУРЕЙСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Б.И. Гарцман[1,2], О.В. Соколов[2,3], С.Ю. Лупаков[1,2]

[1] *Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия;*
[2]*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия;*
[3]*ФГБУ «Приморское УГМС», г. Владивосток, Россия*
gartsman@inbox.ru

POSSIBILITIES OF THE LONG-RANGE INFLOW FORECAST TO THE BUREYSKAYA RESERVOIR

Boris I.Gartsman[1,2], Oleg V. Sokolov[2,3], Sergei Yu. Lupakov[1,2]

[1]*Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia;* [2]*Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia;* [3]*Primorskoe Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Vladivostok, Russia*
gartsman@inbox.ru

Аннотация. Представлены основные результаты разработки метода долгосрочного прогноза притока в Бурейское водохранилище, направленного на получение прогнозов в вероятностной форме с заблаговременностью порядка месяц-квартал.

Учитывая особенности увлажнения и экстремального стокоформирования территории как в пространственном, так и временном масштабе, в работе преимущественное внимание уделяется теплому периоду года (июнь-сентябрь). В процессе исследования рассматривалась как схема динамико-стохастического моделирования, основанная на работе детерминированной гидрологической модели с ансамблем метеорологических характеристик на входе, генерируемым стохастической моделью погоды, так и прогноз

Abstract. Development of the long-range inflow forecast system to the Bureyskaya reservoir, carried out in 2008-2010 at the request of the RusHydro Company, is presented. Estimations were performed based on terms of statistical probabilities with about month-quarter lead-time. Considering features of extreme flow formation processes and wetness of territory, the focus was warm period (June-September), which is known for its heavy rainfall events.

During the investigations there were examined the dynamic-stochastic approach, based on the deterministic hydrological model with using of meteorological characteristics ensemble by weather generator

Gartsman B.I., Sokolov O.V., Lupakov S.Yu. Possibilities of the long-range inflow forecast to the Bureyskaya reservoir. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 426-449 (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.004

притока к водохранилищу в виде кривой обеспеченности, основанный на многомерном вероятностном моделировании. Работа включала два этапа: разработка метода статистического прогноза осадков и температуры заблаговременностью от 1 до 6 месяцев, а также разработка метода вероятностного прогноза притока за месяц-квартал на основе ожидаемых значений атмосферных осадков и температуры воздуха.

Предварительное тестирование метода на основе многолетних данных показало, что оправдываемость прогноза притока к водохранилищу составила порядка 90%, а среднее абсолютное отклонение ожидаемого значения притока от фактического 23-28% от нормы.

На основе предложенного метода, в отдельные годы был дан прогноз сумм осадков и притока воды к водохранилищу в оперативном режиме. При сравнении фактических данных и спрогнозированных, был сделан вывод, что качество работы прогностической схемы удовлетворительное. Оправдываемость средних по бассейну осадков составила 75-80%. Спрогнозированный приток за отдельные периоды в 2009 и 2010 гг. оценен как достаточно близкий к фактическому.

Ключевые слова: динамико-стохастическое моделирование; многомерное вероятностное моделирование; аналоговый метод; Бурея; прогноз осадков; прогноз притока

as input, and inflow forecast to the reservoir in terms of probability curve based on multidimensional stochastic modeling. The project included two main stages: development of precipitation and temperature forecast method with month-six months lead-time; development of inflow probabilistic forecast method with month-quarter lead-time based on expected values of precipitation and temperature.

Methods pretesting demonstrated reasonable inflow forecast reliability (about 90%), mean absolute deviation of expected inflow volume from observed is 23-28% relative to mean value. Driven by the developed framework, it was forecasted precipitation sums and reservoir inflow at the individual seasons. By comparing of measured and forecasted values, it was made a conclusion, that accuracy of the forecast scheme is satisfactory. The mean values of the precipitation forecast reliability is 75-80%. Forecasted reservoir inflow in 2009 and 2010 is assessed as close to a measured one.

Keywords: dynamic–stochastic modeling; multidimensional stochastic modeling; analog method; Bureya; precipitation forecast; inflow forecast

Введение

Очевидно, что при управлении крупными водохозяйственными системами должны использоваться прогнозы притока воды различной заблаговременности – от нескольких суток до нескольких месяцев, причем экономическая эффективность прогноза быстро возрастает по мере увеличения его заблаговременности. Крупные водохранилища сезонного регулирования особенно нуждаются в прогнозах месячного и квартального притока максимальной заблаговременности, что необходимо не только для обеспечения безопасности эксплуатации сооружений ГЭС, но и для достижения максимальной его эффективности. Как упоминалось нами ранее [Гарцман и др., 2009], предельно возможный эффект точного прогнозирования выражается выработкой дополнительной электроэнергии порядка 10-15% от ее количества при ориентировке на норму. Кроме этого, положительный эффект прогнозов проявляется в снижении вероятности аварийных ситуаций и ущербов от них, усовершенствовании планирования работы ГЭС, в том числе – возможность планирования конъюнктуры рынка.

Особенностями предлагаемого в статье метода является, во-первых, использование «экстенсивного» алгоритма стохастического прогнозирования. Такой алгоритм позволил выполнить полный перебор всех доступных предикторов (предсказателей) с опробованием максимального количества отдельных прогностических методик. В результате отбирались прогнозы, признанные наиболее эффективными, на основании которых давался итоговый комплексный прогноз. Во-вторых, в процессе исследований корректировалась схема динамико-стохастического моделирования. Было выявлено, что использование детерминированной модели стока в сочетании со стохастической моделью погоды требует значительных усилий и ресурсов, но для их эффективного применения результаты долгосрочного прогнозирования осадков и температуры пока недостаточно точны и надежны. Поэтому для построения вероятностного прогноза использованы упрощенные подходы – аналоговый и группового моделирования.

Материалы и методы

Долгосрочный прогноз элементов погоды

Для прогноза суммы осадков и средней температуры воздуха за месяц на метеостанциях использовался математический аппарат множественной линейной регрессии

Gartsman B.I., Sokolov O.V., Lupakov S.Yu. Possibilities of the long-range inflow forecast to the Bureyskaya reservoir. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 3, pp. 373- (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.004

[Дрейпер, Смит, 1986] и регрессионной нейронной сети [Медведев, Потемкин, 2002]. Множественная линейная регрессия и корреляционный анализ достаточно широко используется в практике гидрометеорологических прогнозов[1] [Свинухов, 1977], в то время как использование нейронной сети явилось инновацией. Прогностический сдвиг по времени (разница между месяцем, в конце которого дается прогноз, и прогнозируемым месяцем) составил от 1 до 12 месяцев. Для краткости, будем далее называть этот сдвиг заблаговременностью прогноза. Кроме месячных сумм осадков испытывался прогноз сумм осадков по синоптическим сезонам: декабрь-январь, февраль-март, апрель-май, июнь-июль, август-сентябрь, октябрь-ноябрь.

Автоматизированная технология прогноза для отдельной станции и месяца генерирует несколько прогностических величин, которые отличаются использующимся математическим аппаратом, способом отбора предикторов и способом формирования независимой выборки. При этом каждое прогностическое значение имеет свою оценку, полученную на независимой выборке. Для принятия решения о единственном значении прогнозируемой величины используются правила комплексирования прогнозов, при этом прогнозы объединяются во средневзвешенный прогноз с весами, которыми являются оценки качества частных прогнозов.

Прогнозируемыми величинами (предиктантами) в данном исследовании являлись суммы осадков и температуры на пяти станциях: Малиновка, Софийский Прииск, Сутур, Чекунда, Урми. Этот выбор определялся наличием архивов данных и длиной ряда наблюдений. Для всех пяти станций имелись ряды наблюдений с 1950 по 2009 год. Для поддержания базы данных в актуальном состоянии была разработана технология оперативного пополнения - данные о месячных суммах осадков и среднемесячных температурах поступают в базу с 5-го по 15-е число месяца, следующего за месяцем наблюдений.

В качестве независимых величин (предикторов) в данном исследовании использовались следующие группы гидрометеорологических параметров:

- данные наблюдений за температурой воздуха и осадками наземных метеопунктов;
- данные, производные от архивов повторного анализа (реанализа) центров NCEP/NCAR [2] [Kalnay E. et al., 1996] и являющиеся различными индексами,

[1] Руководство по месячным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 365 с.
[2] NCEP/NCAR Reanalysis Project – CDAS. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis.html (дата обращения 11.12.2019)

характеризующими параметры общей циркуляции атмосферы во втором естественно-синоптическом районе (рисунок 1), временные коэффициенты разложения гидрометеорологических полей по естественным ортогональным функциям (далее – ЕОФ) [Груза, 1969; Мещерская и др., 1970; Груза, 1977; Соколов, Друзь, 2005];

- климатические индексы, характеризующие крупномасштабные особенности состояния системы океан-атмосфера и широко используемые в гидрометеорологическом научном сообществе[3] [Картвелишвили, 1975; Barnston, Livezey, 1987];
- временные коэффициенты ЕОФ-разложения средних месячных полей температуры поверхности воды северной части Тихого океана на основе архивов региональной базы данных реального времени проекта NearGOOS Японского Метеорологического Агентства[4] [Ishii et al., 2005].

Кроме этого, привлекались дополнительные предикторы, которые вычислялись как средние величины по глобальным полям геопотенциала 1000 и 500 гПа, разбитым на географические трапеции со стороной 20 градусов (рисунок 1).

Для сравнения и комплексирования прогнозов использованы рекомендации Наставлений по службе прогнозов[5], главная из которых *P* – оправдываемость прогноза (%) по классам норма, выше нормы и ниже нормы.

В результате многочисленных модельных экспериментов были разработаны определенные требования к системе долгосрочного прогноза: адаптивность прогностического метода, то есть использование данных наиболее близко расположенных к моменту прогноза при формировании прогностических уравнений/моделей; расчет оценок качества комплексного метода прогноза на независимой выборке; минимизация возможности отсутствия прогноза на отдельные месяцы для отдельных станций.

Реализация прогностического алгоритма выполняется на основе разработанного ранее подхода [Соколов, Друзь, 2005] в виде программного комплекса ПРОГНОЗ_2009, структура которого отражена на рисунке 2. Исходные данные комплекса, его параметры и результаты расчетов хранятся в специализированных базах данных СУБД MS SQL Server. Тексты программ написаны с использованием языков MS C#, Java (Sun). Построение уравнений

[3] Климатические индексы: атмосферные и океанические временные серии. Лаборатория изучения Земли, департамент Физических наук, NOAA, USA. [Электронный ресурс]. URL: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/ (дата обращения 16.12.2019)

[4] Региональная база данных реального времени (Regional Real Time Data Base) проекта NearGOOS, JMA (Японское Метеорологическое Агентство). [Электронный ресурс]. URL: https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro.html (дата обращения 22.11.2019)

[5] Наставление по службе прогнозов: в 3 разделах. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов: в 7 ч. Часть 6. М.: Гидрометеоиздат, 1986. 27 с.

множественной регрессии и обучение регрессионной нейронной сети осуществляется программными средствами комплекса MATLAB. Анализ результатов проводится с использованием MS Excel, в том числе его возможностей динамического доступа к данным СУБД и построения сводных таблиц и диаграмм.

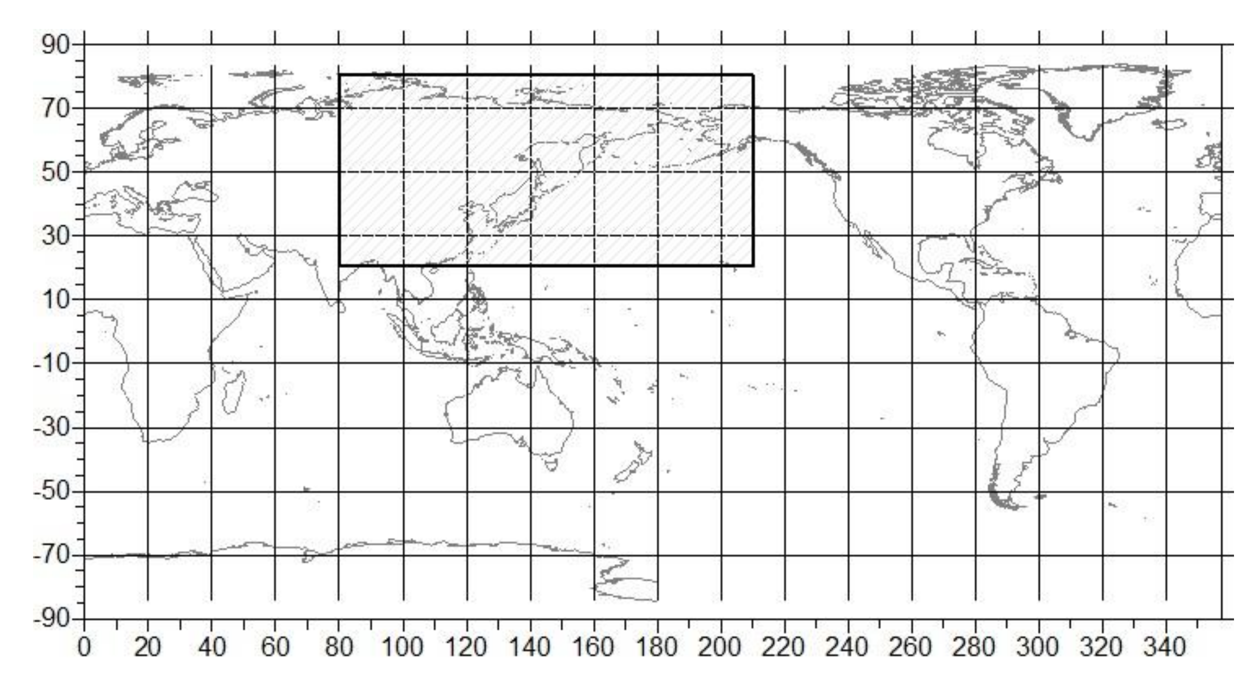


Рисунок 1. Расположение второго естественно-синоптического района (выделен рамкой) в глобальной сетке географических трапеций со стороной 20 градусов

Figure 1. Location of the second natural synoptic region (frame) in the global grid of geographical trapezoids with 20 degrees side resolution

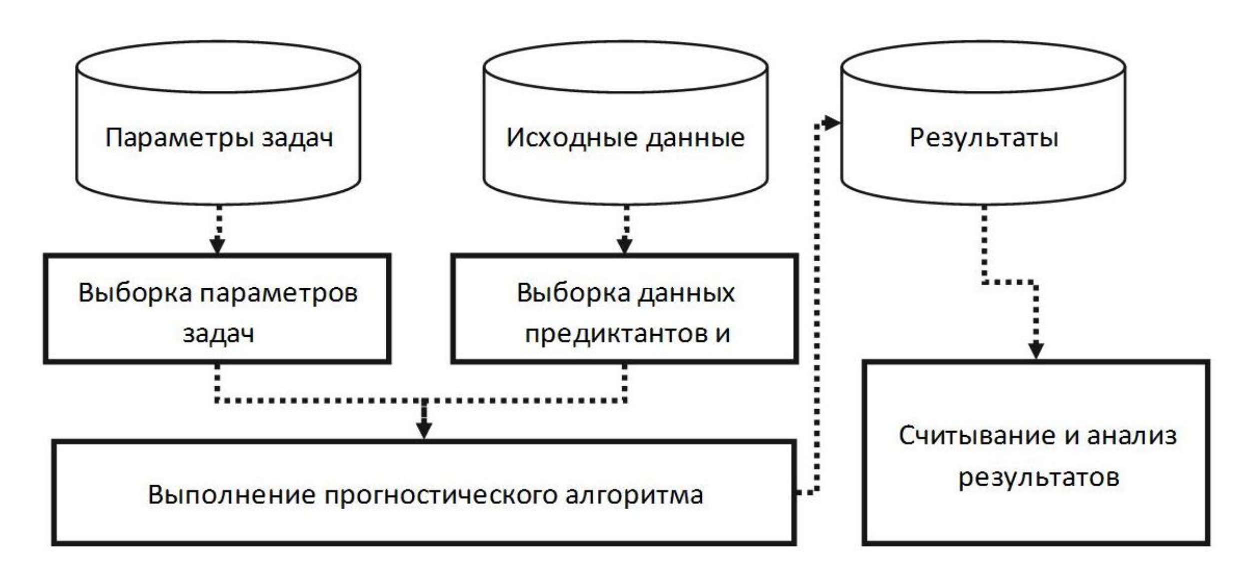


Рисунок 2. Функциональная блок-схема программного комплекса ПРОГНОЗ_2009

Figure 2. Functional structure of the software package PROGNOZ_2009

При выполнении авторских испытаний комплекса для периода с 1950 по 2008 год сравнивались варианты прогнозного алгоритма, отличающиеся способом отбора предикторов для частных прогнозов, а также полнотой, критериями и последовательностью включения частных прогнозов в результирующий комплексный прогноз.

Отбор предикторов осуществлялся с использованием линейных корреляционных связей между предикторами и предиктантами. При этом накладывались рациональные ограничения на величину коэффициента корреляции и количество предикторов в уравнении линейной регрессии или в нейронной сети, в результате чего количество независимых переменных в отдельном уравнении не превышало семи. Большое (порядка 1000) количество предикторов и использование различных сдвигов по времени дают возможность построения нескольких уравнений с различными предикторами для одного варианта прогнозного алгоритма. Такие уравнения названы *частными* для каждого варианта, а прогностические значения, полученные с их использованием — *частными прогнозами*. Построение уравнений выполнялось по *зависимой выборке* данных – архивным данным за длительный ряд предшествующих лет. Длина зависимой выборки составляла от 37 до 47 лет (с 1950 по 1996 год). Две *независимые выборки*, используемые для оценки качества частных и комплексного прогнозов, формировались из данных последних (около 20) лет наблюдений.

Следующим этапом алгоритма являлась оценка частных прогнозов, выполняемая на первой независимой выборке. На основе полученных оценок проводился отбор частных прогнозов для последующего комплексирования. Критериями отбора были оправдываемость частного прогноза P (%) и отношение остаточной дисперсии прогноза к дисперсии исходного ряда. Комплексный прогноз по отдельной станции на отдельный месяц вычислялся как средневзвешенная (по остаточной дисперсии) величина частных прогнозов. Оценка комплексного прогноза выполнялась по второй независимой выборке, на основании чего и производился сравнительный анализ комплексных прогностических алгоритмов.

Всего тестировались 45 различных вариантов комплексных задач. В результате предварительного анализа, на основании сформулированных выше принципов, были отобраны четыре наиболее перспективных варианта, описанные в таблице 1 под условными номерами 0, 4, 6, 8. Эти варианты дают наибольшую вероятность получения прогноза (80-90%) для каждого месяца и каждой станции, и при этом обеспечивают максимальную оправдываемость прогноза.

Таблица 1. Отобранные варианты прогностического алгоритма

Table 1. Chosen variants of the predictive algorithm

№	Описание
0	Полный вариант задачи: использование методов множественной линейной регрессии и нейронной сети с пересчетом и без пересчета коэффициентов на первой независимой выборке и с учетом и без учета систематической ошибки прогноза.
4	Нейронная сеть без пересчета коэффициентов на первой независимой выборке в двух вариантах: с учетом и без учета систематической ошибки прогноза.
6	Нейронная сеть с пересчетом и без пересчета коэффициентов на первой независимой выборке без учета систематической ошибки прогноза.
8	Метод множественной линейной регрессии без пересчета коэффициентов на первой независимой выборке в двух вариантах: с учетом и без учета систематической ошибки прогноза.

В таблице 2 приводятся сводные данные по оправдываемости прогноза осадков по категориям (норма, выше и ниже нормы). Данные сведены по вариантам прогностического алгоритма, метеорологическим станциям в бассейне Буреи, включенным в сеть международного обмена, и месяцам с мая по сентябрь. В каждом случае метод может либо не дать ни одного прогноза (прочерк), либо дать один или несколько прогнозов различной заблаговременности. В таблице даны средние значения и величины превышения оправдываемости тестируемого метода прогноза над оправдываемостью климатического прогноза, то есть над прогнозированием всегда категории норма.

Средняя оправдываемость прогнозов в бассейне Буреи по месяцам летне-осеннего периода (июнь-сентябрь) составила 72-76%, по отдельным станциям эта характеристика изменялась от 64 до 82%. Максимальная оправдываемость по месяцам летне-осеннего периода составила 75-81%, а по отдельным станциям - 89%. В мае и октябре качество прогнозов ниже. Превышение оправдываемости над климатическим прогнозом в среднем составило 5,5%, среднее из максимальных – 8%. Лучшее качество прогнозирования было достигнуто в июле. Эти оценки получены для комплексного метода в процессе квазиоперативного (имитационного) прогнозирования. Они характеризуют реально достижимый в оперативной практике уровень надежности прогноза. Аналогичные испытания проводились и для прогнозов среднемесячной температуры воздуха.

Таблица 2. Оправдываемость прогнозов по различным вариантам прогностического алгоритма (*Pcp*, %) и ее превышение над оправдываемостью климатического прогноза (*+P*, %)
Table 2. Accuracy of forecast using different versions of predictive algorithm (*Pcp*, %) and its excess over climate forecast reliability (*+P*, %)

Вариант	Месяц										Среднее	
	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь			
	$P_{ср}$	+P	$P_{ср}$	+P	$P_{ср}$	+P	$P_{ср}$	+P	$P_{ср}$	+P	$P_{ср}$	+P
Станция Малиновка												
0	65	12	63	12	74	12	80	12	69	12	70	12
4	62	8	61	8	76	8	78	8	67	8	69	8
6	60	6	61	6	74	6	79	6	72	6	69	6
8	62	8	62	8	71	8	82	8	69	8	69	8
Станция Чекунда												
0	-	-	82	-	79	-	76	-	-	-	79	-
4	62	1	81	1	78	1	75	1	-	1	74	1
6	64	5	82	5	80	5	75	5	-	5	75	5
8	65	4	83	4	80	4	76	4	80	4	77	4

Прогноз притока в вероятностной форме

Для оценки возможностей прогноза притока по схеме динамико-стохастического моделирования были выполнены имитационные просчеты с использованием типовой гидрологической модели, разработанной ранее для рек Дальневосточного региона [Гарцман, Губарева, 2007]. Адаптация и использование ее для обеспечения краткосрочными прогнозами Бурейского водохранилища подробно описаны в работе [Гарцман и др., 2009]. По модели рассчитывались объемы сезонного (за июнь-сентябрь) притока к водохранилищу при различных сценариях погоды. В качестве сценариев использовались данные о ежедневных осадках, причем все сезоны были предварительно классифицированы по трем градациям суммы осадков – норма (80-120% среднемноголетнего значения), выше и ниже нормы. Параметры и граничные условия для прогонов модели оценивались в процессе разработки метода краткосрочного прогноза притока в 2007 году.

Для водосбора Буреи строились по три кривые обеспеченности сезонного слоя стока (за июнь-сентябрь): прогнозная при ожидаемых осадках ниже нормы (то есть модельная

кривая, рассчитанная по данным сезонов с осадками ниже нормы); прогнозная при ожидаемых осадках около нормы; прогнозная при ожидаемых осадках выше нормы (рисунок 3). По каждой кривой определялись средние значения сезонного слоя стока и значения обеспеченностью 5 и 95%, то есть определялся интервал значений слоя притока 90% обеспеченности. На графике видно, например, что средние ожидаемые величины притока (обеспеченностью 50%) составляют около 600, 440 и 320 мм для сезонов с большими, средними и малыми осадками соответственно. С другой стороны, обеспеченность слоя притока в 440 мм при осадках около нормы составляет 50%, при больших осадках – около 99%, а при малых – всего около 2,5%.

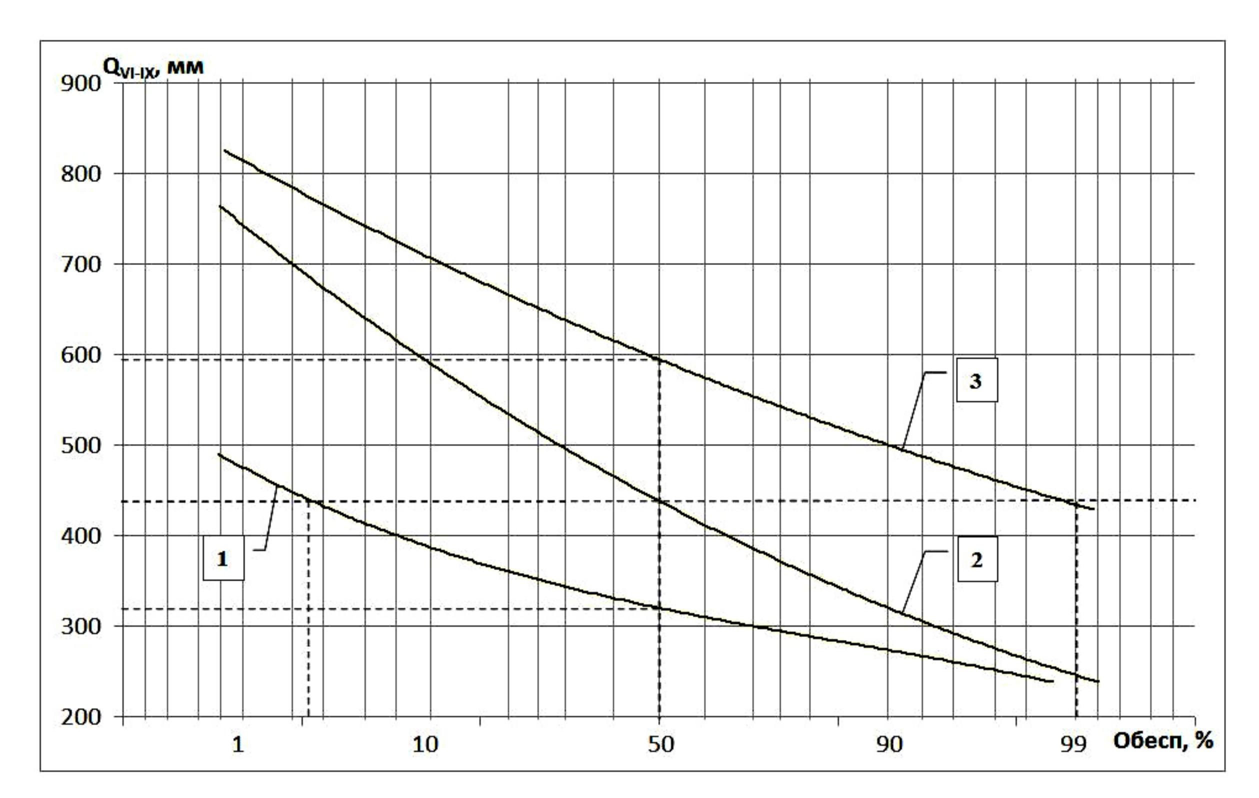


Рисунок 3. Модельные кривые обеспеченности слоя притока к водохранилищу за летне-осенний сезон при осадках ниже нормы (1), норма (2) и выше нормы (3)

Figure 3. Simulated probability curves of runoff depth inflow to the water storage reservoir within aestivo-autumnal period with sum of rainfall lower than mean (1), with mean (2) and higher than mean value (3)

Качество прогноза притока оценивалось путем сравнения рассчитанных по модели 90%-ных интервалов для разных сезонов с полным интервалом данных наблюдений за стоком. Прогностический интервал для сезона с малыми осадками составил 28% от полного интервала, для сезонов со средними и большими осадками – 45 и 46% соответственно. Такое качество

прогноза достигается при 100%-ном прогнозе осадков по градациям. Эти оценки демонстрируют принципиальные возможности схемы динамико-стохастического прогнозирования.

В процессе испытаний выявлена относительно низкая точность количественного долгосрочного прогноза осадков и температуры. Фактически, достаточно надежным по обеим величинам является только прогноз категории – выше нормы, норма и ниже нормы. При такой огрубленной форме исходной метеорологической информации использование полной гидрологической модели с суточным расчетным шагом для получения прогнозных интервалов ожидаемого притока является избыточным. Поэтому в 2009 году разработаны методические основы упрощенного вероятностного прогноза месячного притока с использованием долгосрочного прогноза осадков и температуры на этот месяц.

Общий принцип такого прогноза остается прежним – построение условных кривых обеспеченности при различных ожидаемых значениях месячных сумм осадков и средней температуры воздуха. При уточнении прогноза с заблаговременностью 1 месяц дополнительно учитывается величина фактического притока за предшествующий месяц. Построение условных кривых распределения стока для различных сочетаний факторов по категориям «выше нормы – норма – ниже нормы» выполняется на основе группового вероятностного моделирования, которое в данном случае позволяет наиболее эффективно учесть всю имеющуюся эмпирическую и прогностическую информацию.

Задача моделирования многомерного потока скоррелированных гидрологических событий решается на основании рекомендаций, приведенных в [Картвелишвили, 1975; Виноградов, 1988]. Сначала каждый из исходных ассиметричных скоррелированных гидрологических рядов преобразуется в нормально распределенный ряд применением оптимального функционального преобразования, затем совокупность нормализованных скоррелированных рядов путем замены системы координат преобразуется в систему независимых нормально распределенных случайных величин. На основе результатов этих преобразований возможно, применяя датчик независимых нормально распределенных случайных чисел, путем обратных преобразований, получить моделированные ряды исходных характеристик любой продолжительности.

Пусть заданы N рядов наблюдений $\boldsymbol{v}^{\mathrm{i}}$, каждый ряд длительностью по m лет. Предварительно ряды наблюдений центрированы и нормированы на дисперсию

$$(\mathbf{v}^i)^T \bullet \mathbf{v}^i = \sum_{k=1}^{m} v^i{}_k v^i{}_k = 1, \qquad (1)$$

где i, k – индексы, которые означают номера ряда и года, соответственно;

$\boldsymbol{v}$ – данные;

T – знак транспонирования матрицы.

Будем представлять эти данные в виде матрицы $\boldsymbol{G}$, где по горизонтали данные упорядочены по номерам рядов, а по вертикали – по годам:

$$\boldsymbol{G}=\begin{bmatrix} - & - & N & - & - \\ | & & & & \\ m & & & & \\ | & & & & \\ | & & & & \end{bmatrix} \tag{2}$$

Ковариационная матрица $\boldsymbol{K}$, выраженная через матрицу $\boldsymbol{G}$, будет равна

$$\boldsymbol{K}=\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{G}=\begin{bmatrix} . & . & m & . & . \\ . & & & & \\ N & & & & \\ . & & & & \\ . & & & & \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} . & . & N & . & . \\ . & & & & \\ m & & & & \\ . & & & & \\ . & & & & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} . & . & N & . & . \\ . & & & & \\ N & & & & \\ . & & & & \\ . & & & & \end{bmatrix} \tag{3}$$

Будем искать линейное преобразование исходных векторов наблюдений $\boldsymbol{v}^{\mathrm{i}}$ в виде матрицы $\boldsymbol{A}$ такое, чтобы преобразованные вектора стали некоррелированными. Преобразованные данные выражаются через исходные следующим образом:

$$\boldsymbol{G_1}=\boldsymbol{GA} \tag{4}$$

Ищем такую матрицу преобразования $\boldsymbol{A}$ (размером $N*N$), чтобы ковариационная матрица преобразованных рядов была диагональной, или, учитывая выражение для ковариационной матрицы (3)

$$\boldsymbol{G}_1{}^{T}\boldsymbol{G}_1=diag(\lambda_i), \tag{5}$$

где $diag(\lambda_i)$ – диагональная матрица $N*N$, на главной диагонали которой стоят квадраты дисперсий исходных рядов λ_i.

Учитывая правило транспонирования произведения матриц

$$\boldsymbol{G}_1T=(\boldsymbol{GA})T=\boldsymbol{A}T\boldsymbol{G}T, \qquad (6)$$

получим

$$\boldsymbol{A}T\boldsymbol{G}T\boldsymbol{GA}= diag(\lambda_i). \qquad (7)$$

Учитывая (3), получим уравнение для матрицы $\boldsymbol{A}$:

$$\boldsymbol{A}T\boldsymbol{KA}= diag(\lambda_i). \qquad (8)$$

Здесь все матрицы имеют размерность $N*N$. Это уравнение имеет решение, если матрица $\boldsymbol{A}$ удовлетворяет уравнению на собственные значения матрицы $\boldsymbol{K}$:

$$\boldsymbol{K}*\boldsymbol{A}= diag(\lambda_i)*\boldsymbol{A}. \qquad (9)$$

В этом случае числа λ_i являются собственными значениями матрицы $\boldsymbol{K}$, столбцы матрицы $\boldsymbol{A}$ являются собственными векторами матрицы $\boldsymbol{K}$, а известно, что собственные вектора симметричной действительной матрицы ортогональны и могут быть нормированы, то есть

$$\boldsymbol{A}T\boldsymbol{A}=\boldsymbol{1}, \qquad (10)$$

где $\boldsymbol{1}$ – единичная матрица.

Действительно, предположив, что матрица **A** удовлетворяет уравнению (10), подставив (9) в (8), получим

$$\boldsymbol{A}\mathrm{T}\; diag(\lambda_i)*\boldsymbol{A}= diag(\lambda_i)*\boldsymbol{A}\mathrm{T}\boldsymbol{A}= diag(\lambda_i)*\boldsymbol{1}= diag(\lambda_i). \qquad (11)$$

Таким образом, линейное преобразование $\boldsymbol{A}$, переводящее исходные вектора к некореллированному виду, является матрицей, в столбцах которой стоят собственные вектора ковариационной матрицы исходных рядов. При этом исходные ряды должны быть центрированы и нормированы на дисперсию. В преобразованной матрице дисперсия рядов будет равна корню квадратному из соответствующего собственного значения.

В обратном порядке, если требуется моделировать группу рядов с заданной ковариационной матрицей, то нужно найти $\boldsymbol{G}=\boldsymbol{G}_1\boldsymbol{A}^{-1}$. Для этого необходимо:

– сгенерировать N некореллированных нормально-распределенных случайных чисел заданной длины реализации, с нулевым средним и дисперсией, равной корню квадратному из соответствующего собственного значения ковариационной матрицы, поместить их в столбцы матрицы $\boldsymbol{G}_1$;

– домножить матрицу $\boldsymbol{G}_1$ на матрицу, обратную матрице собственных векторов $\boldsymbol{A}^{-1}$ требуемой ковариационной матрицы, получив матрицу $\boldsymbol{G}$, в столбцах которой стоят попарно-коррелированные нормированные и центрированные модельные ряды;

– произвести денормализацию и дальнейшую обработку получившихся искусственных рядов, приводящую их параметры к параметрам исходных рядов.

Подготовка исходных данных включает в себя вычисление средних по бассейну месячных осадков и температур за каждый год ряда наблюдений. Эти средние значения фактически представляют собой индексы увлажнения и теплообеспеченности бассейна в определенный год и месяц, так как они вычисляются по данным только нескольких станции и содержат в себе значительные погрешности относительно истинных значений.

Затем для каждого месяца теплого периода готовится набор из четырех погодичных рядов синхронных данных: месячных осадков, температуры, расходов и расходов предыдущего месяца. Длина таких рядов в бассейне реки Буреи составляет 64 года. Задачей является получение для каждого месяца набора из четырех модельных рядов тех же параметров большой длительности с сохранением основных статистических свойств исходных рядов – математического ожидания, дисперсии, асимметрии распределений и взаимных корреляций.

Эта задача решалась описанным выше методом группового вероятностного моделирования, заданная длина модельных рядов – 9000 лет. Алгоритм группового вероятностного моделирования реализован с помощью прикладного пакета статистических вычислений MINITAB Release 14. Он основан на стандартных процедурах, имеющихся в большинстве пакетов математических вычислений и табличной обработки данных, в том числе MS Excel.

Для контроля результатов выполнено сравнение математических ожиданий, дисперсий, коэффициентов асимметрии и взаимной корреляции исходных и моделированных рядов месячного притока (пример оценки для июля приведен в таблице 3), а также построенных по ним кривых обеспеченности. Дальнейший анализ включает в себя определение градаций и сочетаний градаций факторов «осадки – температура», разбиение моделированных рядов на соответствующие подвыборки, построение прогнозных кривых

обеспеченности по подвыборкам и ожидаемых средних и интервалов значений притока для каждого месяца при заданном сочетании факторов.

По величине средних месячных осадков члены модельного ряда распределяются по трем подвыборкам – выше нормы, норма и ниже нормы. В категорию норма включаем годы со средними по бассейну с осадками, равными среднему значению плюс-минус 15%. Эта величина определена исходя из рекомендованных границ градаций осадков для отдельных станций (норма плюс-минус 20%[6]). Вычисление средних по бассейну Буреи осадков по данным нескольких станций с учетом их корреляционных связей снижает дисперсию итоговой величины и делает необходимым пропорциональное уменьшение интервала нормы. Число лет, попадающих в подвыборки по градациям осадков приблизительно одинаковое – примерно по 33% в каждой.

Таблица 3. Сравнение параметров наблюденных (измер., 64 года) и моделированных (мод., 9000 лет) гидрометеорологических характеристик для июля

Table 3. Comparison of observed (64 years) and simulated (9000 synthetic years) statistical parameters of July's hydrometeorological characteristics

Характеристика	Осадки		Температура		Сток июня		Сток июля	
Параметр	Измер.	Мод.	Измер.	Мод.	Измер.	Мод.	Измер.	Мод.
Среднее	139,3	140,8	19,1	19,1	1600	1610	1740	1760
Дисперсия	49,8	50,0	1,1	1,1	672	634	980	935
Асимметрия	0,63	0,48	-0,19	0,01	0,71	0,59	2,17	1,63
Корреляция со стоком июля	0,74	0,72	-0,38	-0,41	0,24	0,22	1,0	1,0

Затем, по величине среднемесячной температуры члены каждой подвыборки разбиваются также по трем категориям – выше нормы, норма и ниже нормы. В категорию норма включаем годы с температурой, равной среднему значению плюс-минус 0,8°С. Границы назначены с учетом приблизительно нормального распределения средних по бассейну температур таким образом, чтобы интеграл плотности вероятности в интервале нормы составлял 0,5. Соответственно, распределение членов каждой из трех первичных подвыборок

[6] Наставление по службе прогнозов: в 3 разделах. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов: в 7 ч. Часть 6. М.: Гидрометеоиздат, 1986. 27 с.

по новым категориям близко к 25, 50 и 25%. Всего получается 9 подвыборок для каждого анализируемого месяца объемом примерно от 100 до 600 членов.

По полученным подвыборкам лет строятся условные эмпирические кривые обеспеченности среднемесячного расхода притока для каждого сочетания категорий факторов «осадки – температура». С кривых обеспеченности снимаются значения квантилей 50% обеспеченности, характеризующие наиболее вероятные ожидаемые значения притока, и обеспеченностью 5 и 95%, характеризующие границы интервала ожидаемых значений с доверительной вероятностью 90%. Форма предоставления результатов расчетов приведены в таблице 4. В ней обозначения q_{ij}^{P} соответствуют значениям ожидаемых расходов заданной обеспеченности P при конкретных сочетаниях прогнозируемых факторов «осадки-температура». Там же приведены значения q_{K}^{P} при учете только одного фактора – осадков.

Подобная форма заполняется для всех месяцев с июня по сентябрь и используется для прогнозирования притока на основе прогноза осадков и температуры. Отметим, что долгосрочный прогноз осадков и температуры может быть получен из любого источника, а не только на основании метода, описанного в предыдущем разделе. Заблаговременность прогноза притока при этом определяется заблаговременностью метеорологического прогноза, то есть такой прогноз может быть выдан, например, в мае на весь предстоящий сезон.

Предварительный анализ качества прогнозирования выполнен на имеющихся рядах данных – оценки притока получались по фактическим значениям осадков и температуры вместо прогнозных, затем они сравнивались с фактическими значениями притока.

На рисунке 4 представлено сравнение результатов прогнозирования с фактическими значениями притока за июль. Вероятность попадания измеренного притока в границы оценочного интервала составила 87,5-93,8%, среднее абсолютное отклонение ожидаемого значения притока от фактического 23-28% от нормы. Эти оценки подтверждают адекватность принятого доверительного интервала 90% и удовлетворительную, с учетом большой заблаговременности, точность прогноза.

Таблица 4. Оценка ожидаемого среднемесячного расхода (м³/с) по прогнозу средней суммы осадков и средней температуры воздуха по бассейну реки Бурея

Table 4. Expected mean monthly discharge (m³/s) evaluation using forecast of mean precipitation sum and mean air temperature in Bureya river basin

Категории осадков	Оцениваемая величина	По осадкам	По категориям температуры		
			выше нормы	норма	ниже нормы
выше нормы	Qмес 5%	q_1^5	q_{11}^5	q_{12}^5	q_{13}^5
	Qмес 50%	q_1^{50}	q_{11}^{50}	q_{12}^{50}	q_{13}^{50}
	Qмес 95%	q_1^{95}	q_{11}^{95}	q_{12}^{95}	q_{13}^{95}
норма	Qмес 5%	q_2^5	q_{21}^5	q_{22}^5	q_{23}^5
	Qмес 50%	q_2^{50}	q_{21}^{50}	q_{22}^{50}	q_{23}^{50}
	Qмес 95%	q_2^{95}	q_{21}^{95}	q_{22}^{95}	q_{23}^{95}
ниже нормы	Qмес 5%	q_3^5	q_{31}^5	q_{32}^5	q_{33}^5
	Qмес 50%	q_3^{50}	q_{31}^{50}	q_{32}^{50}	q_{33}^{50}
	Qмес 95%	q_3^{95}	q_{31}^{95}	q_{32}^{95}	q_{33}^{95}

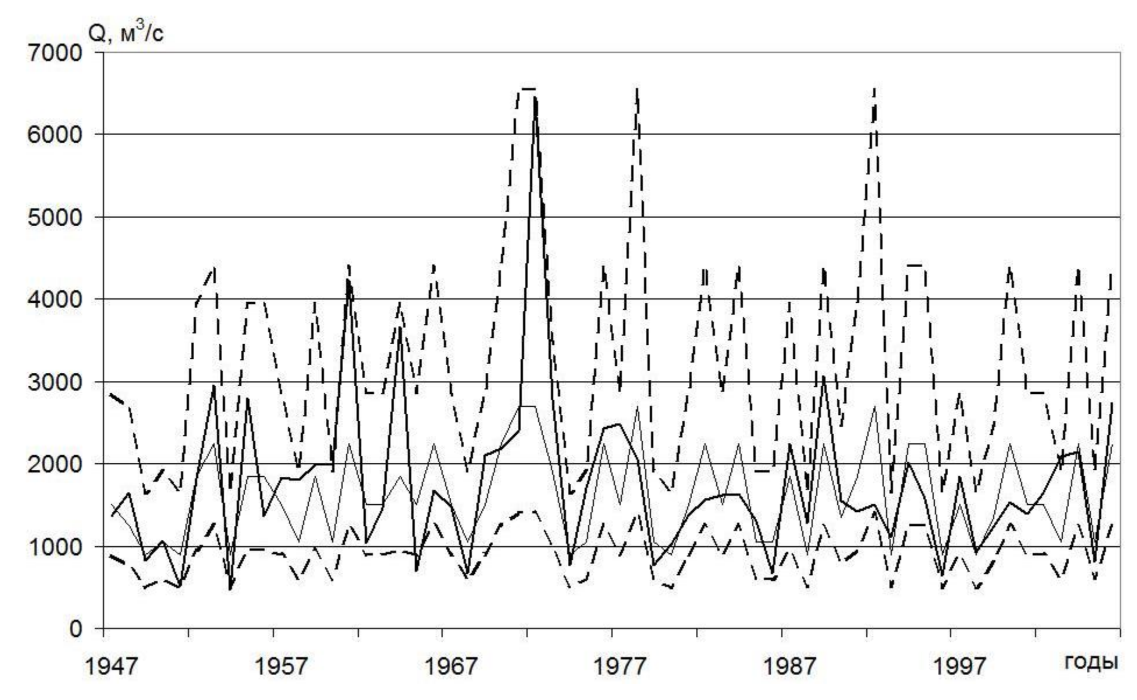


Рисунок 4. Фактические (жирная линия) и прогнозные значения притока за июль: ожидаемое значение (тонкая сплошная) и границы оценочного интервала (пунктирные линии)

Figure 4. Measured (bold line) and forecasted values of inflow in July: expected value (neat line) and boundaries of estimated interval (dotted line)

Возможно уточнение прогноза с учетом фактического притока за месяц, предшествующий прогнозируемому. Такой уточненный прогноз выполняется по схеме, аналогичной изложенной выше. Для этого при составлении оценочных таблиц модельные годы разбиваются сначала на подвыборки со значениями притока за предшествующий месяц «выше нормы», «норма» и «ниже нормы». Далее составляются оценочные таблицы для каждого варианта, которые используются при оценке притока на предстоящий месяц, когда приточность за данный месяц уже может быть оценена по факту. Для основной и уточненной схемы прогнозирования вычислены вероятности попадания фактического значения в прогнозируемый интервал (оправдываемость, %) и среднее абсолютное отклонение фактического от ожидаемого значения (таблица 5).

Таблица 5. Вероятность попадания фактического значения в прогнозируемый интервал (оправд.) и среднее абсолютное отклонение его от ожидаемого значения (ошиб.), %

Table 5. Falling of measured value within the forecasted interval probability and mean absolute deviation from the expected value, (%)

Месяц	Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
Показатель	Оправд.	Ошиб.	Оправд.	Ошиб.	Оправд.	Ошиб.	Оправд.	Ошиб.
Основной прогноз	87,5	26	89,1	28	90,6	26	93,8	23
Уточненный прогноз	90,6	25	87,5	27	92,2	25	89,1	21

Видно, что уточнение прогноза по данным о притоке за предшествующий месяц в общем незначительно и дает заметный положительный эффект только для августа и сентября. Для этих же месяцев влияние температуры воздуха на сток оказывается незначительным. Это указывает на изменение значимости ведущих факторов стока в течение летне-осеннего сезона, что может стать предметом дальнейшей разработки метода прогноза.

Прогнозы объема притока за весеннее половодье менее значимы для Бурейского водохранилища из-за особенностей гидрологического режима реки Буреи, зато они отличаются большей точностью и надежностью по сравнению с прогнозами летне-осеннего притока дождевого происхождения. Это обусловлено наличием достаточно надежной

информации о запасах воды в снежном покрове на бассейне к началу половодья. Несмотря на значительную роль других факторов формирования талого стока, объем снегозапасов в основном определяет объем притока за половодье, что позволяет давать прогнозы в количественной, а не в вероятностной форме.

Учет долгосрочного прогноза осадков и температуры при прогнозировании притока за половодье выполняется на основе аналогового подхода. Аналоговый подход в значительной мере является экспертной оценкой, так как не имеет абсолютно строгого алгоритма. В данном случае он заключается в поиске наилучших лет-аналогов в имеющемся ряду наблюдений, которые могут быть сходными с текущим годом по условиям и объему половодья. При выборе лет-аналогов сравниваются объемы снегозапасов на бассейне, накопленные к концу марта, и близость фактических месячных сумм осадков и среднемесячных температур за апрель и май к прогнозируемым значениям на те же месяцы текущего года. Прогноз выдается в конце марта в виде ожидаемого притока в апреле-мае.

Результаты оперативных испытаний прогнозов

Параллельно с разработкой метода и по мере готовности отдельных компонент метода составлялись опытные оперативные прогнозы для Бурейской ГЭС. В 2008, 2009 и 2010 годах даны прогнозы месячных сумм осадков в начале мая на май-октябрь предстоящего сезона по станциям. На рисунке 5 приводятся данные о сходимости прогноза с фактическими осадками в среднем по бассейну за 2008-2010 годы.

Средние ошибки месячной суммы осадков за май-сентябрь составляют 25%, 19%, 31% соответственно для 2008, 2009 и 2010 гг., наибольшие относительные ошибки 73%, 34% и 57% наблюдались в июне за три обсуждаемых года. Оправдываемость прогноза по станциям колеблется в широких пределах, за теплый период (июнь-сентябрь) – от 50% до 75%. Оправдываемость средних по бассейну осадков составила 75-80%.

Суммарные ошибки прогностической суммы осадков за сезон по станциям достигают 130 мм, но сумма осадков за сезон в среднем по бассейну Буреи спрогнозирована в 2008 г. с ошибкой около 22%, в 2009 – около 5%, а в 2010 – около 7%. Качество прогноза в целом удовлетворительное. Из результатов анализа следует, что наиболее точно прогнозируются средние по бассейну осадки. Наибольшее влияние на оценку притока при этом имеют прогнозы осадков с июня по сентябрь, так как в октябре их величина относительно мала, а сток мая в большей степени определяется влагозапасом бассейна на начало снеготаяния.

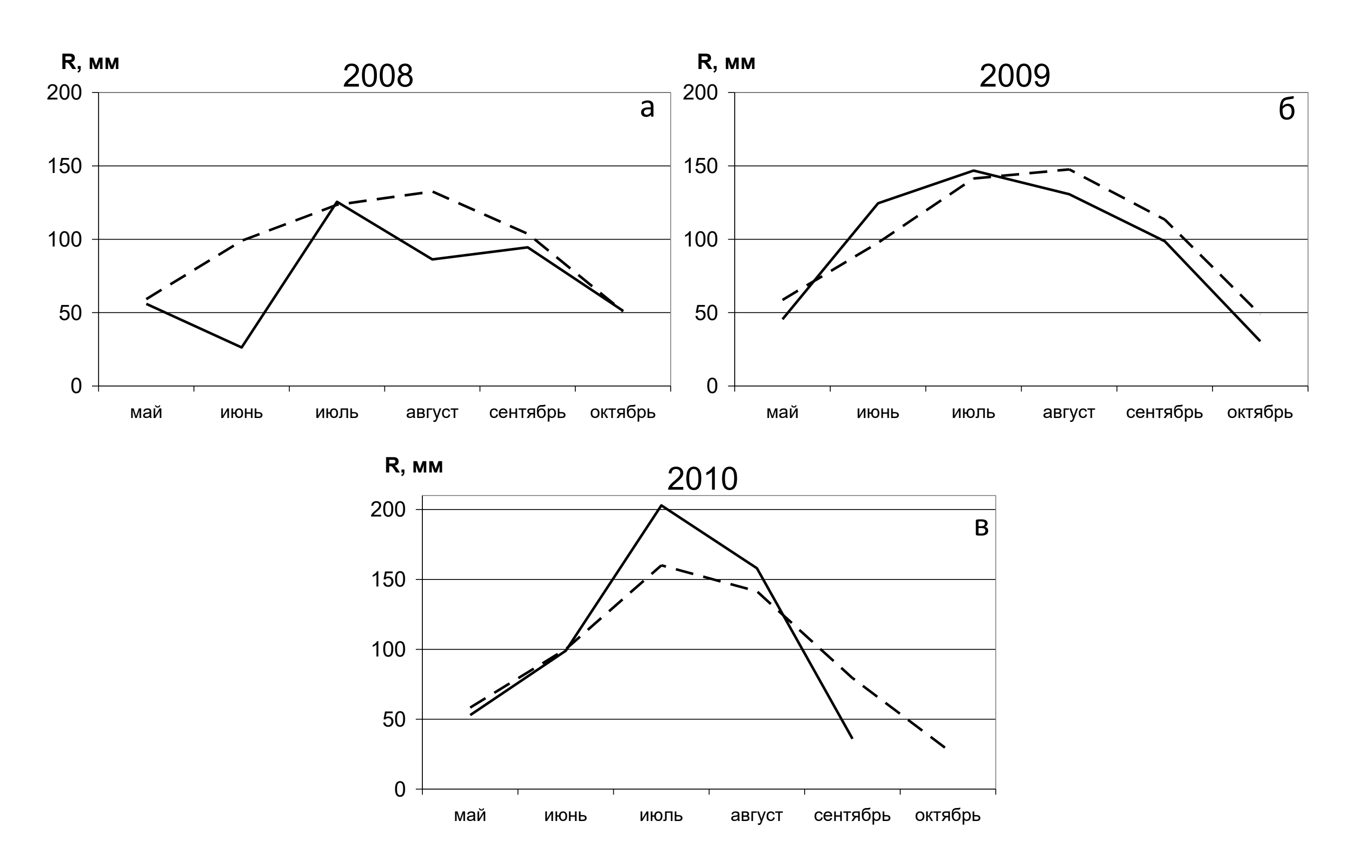


Рисунок 5. Сравнение прогностических (сплошные) и фактических (пунктирные) средних по бассейну осадков за май-октябрь: а) 2008 г., б) 2009 г. в) 2010 г.

Figure 5. Comparison of forecasted (solid lines) and measured (dotted line) mean precipitation values in Bureya basin for May-October in: а) 2008; б). 2009; в) 2010

Величина ожидаемого притока определялась на основании аналогового подхода. Сначала, на основании ожидаемых в апреле-мае осадков и температур, выбиралась группа из 8-12 лет с близкими фактическими значениями этих характеристик. Затем из них отбирались 2 наиболее надежных аналога на основе сравнения величин запасов воды в снеге на конец марта лет-аналогов и прогнозируемого года. На основании экспертного учета ряда дополнительных факторов вводилась поправка на ожидаемый объем притока. Результаты приведены в таблице 6.

Прогноз притока на апрель-май 2009 года по объему полностью оправдался с большой точностью, распределение водности по месяцам соответствовало второму аналогу (1963 г.). Прогноз притока на апрель-май 2010 года по объему завышен на 20%, распределение водности по месяцам соответствовало первому аналогу (1978 г.)

Таблица 6. Ожидаемый и фактический приток на апрель-май, км^3

Table 6. Expected and measured reservoir inflow for April-May, km^3

Период	**Годы-аналоги**		**Приток**	
2009 год	**1985**	**1963**	**Ожидаемый**	**Фактический**
Апрель	1,9	1,3	1,5	1,2
Май	4,9	5,3	5,5-6,0	5,9
Всего	6,8	6,6	7,0-7,5	7,1
2010 год	**1978**	**1970**	**Ожидаемый**	**Фактический**
Апрель	0,9	1,2	1,0	0,8
Май	5,0	4,7	5,0	4,0
Всего	5,9	5,9	6,0	4,8

Заключение

В результате выполненных работ по созданию метода долгосрочного прогноза притока воды в Бурейское водохранилище оценена адекватность и выполнена корректировка схемы динамико-стохастического моделирования. Разработаны и предварительно испытаны метод статистического прогноза осадков и температуры заблаговременностью 1-6 месяцев и метод вероятностного прогноза притока на основе ожидаемых значений осадков и температуры. Прогностические алгоритмы реализованы в виде программного комплекса для средней месячной температуры и суммы осадков за месяц и ряда отдельных программных компонент. Подготовлено несколько оперативных прогнозов осадков, температуры и притока к водохранилищу большой заблаговременности.

На основе авторских исследований и ограниченного объема оперативных испытаний методов показана возможность достижения довольно высоких значений оправдываемости и точности прогнозов притока заблаговременностью до 6 месяцев. Задачами дальнейшей работы являются совершенствование метода статистического прогноза осадков и температуры за счет отбора предикторов на основе их физической интерпретации; уточнение вероятностного прогноза притока путем учета дополнительных факторов стокоформирования, в первую очередь предшествующего увлажнения бассейна; доработка и совершенствование программных компонентов системы прогнозирования; проведение систематических оперативных испытаний методов; выработка эвристических правил прогнозирования, позволяющих добиваться максимальной эффективности методов в оперативной практике.

Литература

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока: опыт критического анализа. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 312 с.

Гарцман Б.И., Губарева Т.С. Прогноз гидрографа дождевых паводков на реках Дальнего Востока // Метеорология и гидрология. 2007. № 5. С. 70-80.

Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Бугаец А.Н., Макагонова М.А. Краткосрочный прогноз притока воды в водохранилище Бурейской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2009. № 1. С. 11-20

Груза Г.В. Опыт применения статистических главных компонент (естественных ортогональных составляющих) в технике корреляционного прогноза // Труды Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института. 1969. Вып. 40(55). С. 19-36.

Груза Г.В. Прогностические модели в метеорологии и статистические прогнозы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1977. Вып. 35. С. 3-10.

References

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 1987, vol. 115, no 6, pp. 1083-1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2

Draper N.R., Smith H. *Applied Regression Analysis. Second Edition.* New-York, John Wiley & Sons, 1981. 709 p. (Russ. ed.: Dreiper N., Smit G. Prikladnoi regressionnyi analiz: v 2-kh knigakh. Kniga 1. Moscow, Publ. Finansy i statistika, 1986. 366 p.).

Gartsman B.I., Gubareva T.S. Forecast of the rainfall flood hydrograph on the Far East rivers *Russian Meteorology and Hydrology*, 2007, vol. 32, iss. 5, pp. 328-335. (Russ. ed.: Gartsman B.I., Gubareva T.S. Prognoz gidrografa dozhdevyh pavodkov na rekah Dal'nego Vostoka. *Meteorologija i gidrologija,* 2007, no. 5, pp. 70-80). DOI: 10.3103/S1068373907050068

Gartsman B.I., Gubareva T.S., Bugaets A.N., Makagonova M.A. Kratkosrochnyi prognoz pritoka vody v vodokhranilishche Bureiskoi GES [Short time forecast of Burejskaya reservoir inflow]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [*Power Technology and Engineering (Russia)]*, 2009, no. 1, pp. 11-20. (In Russian).

Gruza G.V. Opyt primeneniya statisticheskikh glavnykh komponent (estestvennykh ortogonal'nykh sostavlyayushchikh) v tekhnike korrelyatsionnogo prognoza [Experience in application of statistical principal components (natural orthogonal constituents) for correlational prediction]. *Trudy Sredneaziatskogo*

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: в 2-х кн. Кн. 1 / Пер. с англ. Ю.П. Адлера и В.Г. Горского. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.

Картвелишвили Н.А. Стохастическая гидрология. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 163 с.

Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Matlab 6. М.: Диалог-МИФИ, 2002. 496 с.

Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И. Естественные составляющие метеорологических полей. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 199 с.

Свинухов Г.В. Синоптико-статистические методы долгосрочных прогнозов погоды на Дальнем Востоке. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 168 с.

Соколов О.В., Друзь Н.И. Автоматизированный исследовательский программный комплекс для целей прогноза элементов погоды // Проблемы транспорта Дальнего Востока. 2005. С. 211-213.

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns // Monthly Weather Review. 1987. Vol. 115. No. 6. *nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta* [*Writings of Scientific Research Hydrometeorological Institute (NIGMI) of Uzhydromet (Russia)*], 1969, vol. 40, iss. 55, pp. 19-36. (In Russian).

Gruza G.V. Prognosticheskie modeli v meteorologii i statisticheskie prognozy [Prediction model in meteorology and statistical forecasts]. *Trudy VNIIGMI-MTsD* [*Writings of All Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center (Russia)*], 1977, vol. 35, pp.3-10. (In Russian).

Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection. *The International Journal of Climatology*, 2005, vol. 25, iss. 7, pp. 865-879. DOI: 10.1002/joc.1169

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, vol. 77, no. 3, pp. 437-472. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

Kartvelishvili N.A. *Stokhasticheskaya gidrologiya [Stochastic hydrology]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975. 163 p. (In Russian).

Medvedev V.S., Potemkin V.G. *Neironnye seti. Matlab 6. [Neural Network Matlab 6]*. Moscow, Publ. Dialog-MIFI, 2002. 496 p. (In Russian).

P. 1083-1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>-2.0.CO;2

Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection // The International Journal of Climatology. 2005. Vol. 25. Iss. 7. P. 865-879. DOI: 10.1002/joc.1169

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. Vol. 77. No. 3. P. 437-472. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>-2.0.CO;2

Meshcherskaya A.V., Rukhovets L.V., Yudin M.I., Yakovleva N.I. *Estestvennye sostavlyayushchie meteorologicheskikh polei [Natural constituents of meteorological fields]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1970. 200 p. (In Russian).

Sokolov O.V., Druz' N.I. Avtomatizirovannyi issledovatel'skii programmnyi kompleks dlya tselei prognoza elementov pogody [Automated software package complex for prediction of weather patterns]. *Problemy transporta Dal'nego Vostoka [Transport problems of the Far East],* 2005, pp. 211-213. (In Russian).

Svinukhov G.V. *Sinoptiko-statisticheskie metody dolgosrochnykh prognozov pogody na Dal'nem Vostoke [Synoptically-statistical methods of weather long range forecast at the Far East]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1977. 168 p. (In Russian).

Vinogradov Yu.B. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov formirovaniya stoka [Mathematical Modeling of River Runoff Formation Processes]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1988. 311 p. (In Russian).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В научный журнал «Гидросфера. Опасные процессы и явления» принимаются статьи на русском и английском языках в соответствии с основными тематическими разделами:

1. Фундаментальные проблемы гидросферы Земли.
2. Опасные процессы и явления в гидросфере Земли.
3. Эволюция гидросферы Земли.
4. Экологические проблемы и опасности в гидросфере Земли.
5. Методология и методика исследований.
6. Научные дискуссии.
7. Хроника.

Плата за публикации статей не взымается. Гонорар авторам не выплачивается. Все статьи после формирования выпуска размещаются на сайте журнала в свободном доступе.

Общие требования к оформлению статьи:

- формат **.doc** или **.docx**; все поля страницы – по 2 см;
- шрифт Times New Roman, размер – 12 pt;
- междустрочный интервал – полуторный, переносы в словах не допускаются;
- абзацный отступ – 1,5 см, выравнивание текста – по ширине (за исключением титульной страницы, формул, сносок, рисунков и таблиц).

Титульная страница должна содержать следующие элементы:

- УДК (выравнивание по левому краю);
- название статьи (регистр как в предложении, выравнивание по центру) не более 14 слов;
- инициалы и фамилия автора (авторов) (выравнивание по центру);
- полное название организации, в которой работают авторы, с указанием города и страны (курсив, выравнивание по центру);
- e-mail контактного автора (выравнивание по центру);
- аннотация объемом 230-250 слов, которая должна включать актуальность темы исследования, постановку проблемы, цели исследования, методы исследования, результаты и ключевые выводы;
- ключевые слова – 6-10 слов, предельно отражающих предмет исследования.

Основной текст статьи.

При подготовке статьи редакция настоятельно рекомендует придерживаться формата **IMRAD**, подразумевающего структурирование статьи на следующие элементы:

- введение (Introduction), содержащпй актуальность исследования, обзор литературы, постановку проблемы, формулирование целей и задач исследования;
- методы (Methods), содержащий описание методики (методов) и схем экспериментов/наблюдений, материалов, приборов, оборудования и условий экспериментов/наблюдений;
- результаты (Results) – фактические результаты исследования и их интерпретация;
- обсуждение (Discussion) – краткие итоги разделов статьи без дословного повторения.

Таблицы и рисунки оформляются без абзацного отступа с выравниванием по центру, отделяются пустыми строками от основного текста. Все рисунки должны быть максимального качества. В таблицах допускается использование одинарного междустрочного интервала, шрифта меньшего размера (не менее 10 pt). Каждая таблица и рисунок должны иметь номер (используются арабские цифры) и название. Все подписи к таблицам и рисункам должны содержать источники информации (за исключением случаев, когда они созданы автором статьи).

Единицы измерения по тексту статьи указываются в международной системе единиц.

Десятичные числа набираются через запятую (например, 1,25).

Аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом употреблении. Если таких элементов много, статью можно дополнить списком сокращений с расшифровкой.

Формулы должны быть вставлены как объект Microsoft Equation или набраны в редакторе формуле Word, располагаться по центру страницы без абзацного отступа, сопровождаться сквозной нумерацией (по правому краю), а также иметь экспликацию (расшифровку обозначений при первом их упоминании с указанием единиц измерения).

В конце статьи могут быть приведены **Благодарности**, в котором следует упоминать людей, которые помогали при работе над статьей; источники финансирования.

Отсылка на затекстовые библиографические ссылки приводится по тексту статьи в квадратных скобках путем упоминания всех авторов (при отсылке к источнику с 1-3 авторами), либо первого автора и слов «и др.» («et al.») (при отсылке к источнику с 4 и более авторами) и года издания. Ссылки на несколько публикаций одного автора за один год помечаются добавлением буквы к году издания. В случае отсылки на несколько источников, они приводятся в хронологическом порядке и разделяются точкой с запятой.

Форматы оформления основных видов затекстовых библиографических ссылок:
Ссылка на книгу: *Фамилия И.О.* Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности (например, редактор). Место издания (город): Издательство, год. Количество страниц в книге. DOI:
Ссылки на диссертацию или автореферат: *Фамилия И.О.* Заглавие диссертации. Тип диссертации. Место издания (город), год. Количество страниц в диссертации. DOI:
Ссылки на статью в книге: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие книги: Сведения, относящиеся к заглавию книги / Сведения об ответственности. Место издания (город): Издательство, год издания. Страницы статьи. DOI:
Ссылки на статью в периодическом издании: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие журнала. Год. Том. №. Страницы статьи. DOI:
Ссылки на материалы в сборнике конференции: *Фамилия И.О.* Заглавие статьи // Заглавие сборника конференции: Сведения, относящиеся к заглавию сборника (место и даты проведения конференции). Место издания (город): Издательство, год. Том. Страницы статьи. DOI:
Ссылки на электронный источник: *Фамилия И.О.* Заглавие материала [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию // Заглавие интернет-источника. Год создания ресурса. URL: адрес статьи (дата обращения: 01.01.2013).

В затекстовые библиографические ссылки включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов, материалы конференций, разделы книг и книги). Если необходимо сослаться на нормативный документ либо на статью в газете, текст на сайте или в блоге, следует поместить информацию об источнике в сноску по основному тексту статьи. **Сноски** оформляются сквозной нумерацией по всему документу арабскими цифрами. В сносках помимо источников может быть другая дополнительная информация. Текст в сносках оформляется без абзацного отступа, выравнивается по ширине, размер шрифта – 10 pt.

Кроме того, обязательно подается **авторская справка**, содержащая информацию обо всех авторах: фамилия, имя, отчество (полностью); ученые степень и звания; место работы с указанием должности; контактный телефон; e-mail; авторские индексы.

На **английском языке** в обязательном порядке приводятся: титульная страница; названия таблиц и рисунков; благодарности (при наличии); литература (содержащая, как транслитерацию, так и перевод на английский язык); авторская справка.

При этом англоязычный вариант аннотации (**Abstract**) должен быть информативным (не содержать общих слов); оригинальным (не быть калькой русскоязычной аннотации); содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированным (следовать логике описания результатов в статье); «англоязычными» (написаны качественным английским языком); компактным (укладываться в объем до 300 слов).

Подробные правила оформления статей приведены на сайте журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»: http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements.

AUTHOR GUIDELINES

Articles in Russian and English accepted at the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena" in accordance with the main sections:

1. Fundamental problems of the Earth's hydrosphere
2. Hazardous processes and phenomena in the hydrosphere of the Earth
3. The evolution of the Earth's hydrosphere
4. Ecological problems and hazards in the hydrosphere of the Earth.
5. Methodology and research methods
6. Scientific discussions
7. Chronicles

There is no fee for publishing articles. The authors are not paid a fee.

All articles after the formation of the issue are posted on the journal's website in the public domain. Materials published in journal are freely available and posted on the journal website.

The general format requirements for articles to be published:

- file format .doc or .docx; fields 2 cm on the perimeter of the page;
- font Times New Roman, the main font size – 12 pt;
- line spacing – 1,5, the use of automatic hyphenation in words is not permitted;
- indent – 1,5 cm, text alignment on the page width (except for the title page, formulas, links, figures and tables).

The title page should contain the following elements:

- title of the article (register as in the sentence, alignment in the centre) no more than 14 words;
- author (s)' name (alignment in the centre);
- organization affiliation, indicating the city and country (in italics, alignment in the centre);
- e-mail of the contact author (center alignment);
- abstract up to 250 words, which should include the relevance of the research topic, problem statement, research objectives, research methods, results and key findings;
- keywords – 6-10 words, reflecting the content of an article.

The main text.

The editors strongly recommend original research articles are structured in IMRAD format:

Introduction – Why was the study undertaken? What was the research question, the tested hypothesis or the purpose of the research?

Methods – When, where, and how was the study done? What materials were used or who was included in the study groups (patients, etc.)?

Results – What answer was found to the research question; what did the study find? Was the tested hypothesis true?

Discussion – What might the answer imply and why does it matter? How does it fit in with what other researchers have found? What are the perspectives for future research?

Tables and figures should be centered on page without indentation, separated from the main text by empty lines. All figuries should be in highest quality. There are allowed of using a single line spacing, and a smaller font (no less 10 pt) in tables. Each table and figure should have a number and a title. All signatures to tables and figures should contain sources of information (except when they are created by the author of the curent article).

Units of measurement in the text of the article are indicated in the international system of units.

Decimal numbers are comma-separated (e.g. 1,25).

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter. If there are a lot of abbreviations, the article can be supplemented by a section with a list of abbreviations with decryption.

For equations use a Microsoft Equation object or Word equation editor, they should be located in the center of the page without indentation and accompanied by continuous numbering (on the right edge). All equations must have an explication (defining of symbols at the first mention of them with units measurements).

If it necessary **Acknowledgments** of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. Footnotes to the text are numbered consecutively.

Cite references in the text by last name and year in square brackets. If reference consist not more than three authors, you should place in text all author. If there are more than four authors - place in brackets the first author and words "et al." and not forget about year of publishing. If you need several reference cite in one place of text - please separate each reference by semicolons. If you use several references of one author in the same published year - you must separate it by letter near the year in reference list and in text.

References list should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should be mentioned in the footnotes. Reference list should be alphabetized by the last names of the first author. If you use several references of author

Some formats for references list:

Book reference: Author A.A. *Title of book*. City, Publisher, year. 100 p. DOI:

Book chapter reference: Author A.A. Title of chapter. In Editor E.E. (ed.), *Title of book*. City, Publisher, year, pp. 1-20. DOI:

Dissertation reference: Author A.A. *Title of thesis. Thesis type.* City, year. 100 p. DOI:

Jornal article reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49-53. DOI:

Conference Proceedings reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Conference Proceedings (date and place of the conference)*, City, Publisher, 2005, vol. 1, pp. 49-53. DOI:

Online document reference: Author A.A., Author B.B., Author C.C., Author D.D. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol.10, no. 2, pp. 49-53. Available at: http://example.com/example.

For the detailed information about the author(s), please at the end of article give us some additional information:

full names of author(s);
academic degree and title;
organization affiliation with full address (including Post Code);
position in organization;
contact telefon (for all authors);
contact e-mail (for all authors);
scientific indexes (scopus, orcid, web of science etc.).

Detailed rules for articles will be given on the website of the journal "Hydrosphere. Hazard processes and phenomena”: http://hydro-sphere.ru/index.php/hydrosphere/requirements

Научное издание

ГИДРОСФЕРА. ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ.

HYDROSPHERE. HAZARD PROCESSES AND PHENOMENA
(GIDROSFERA. OPASNYE PROTSESSY I YAVLENIYA)

Главный редактор: академик РАН Г.И. Долгих
Компьютерная верстка: М.М. Кадацкая

На обложке фото Е.Н. Казаковой; рисунки Н.А. Казакова

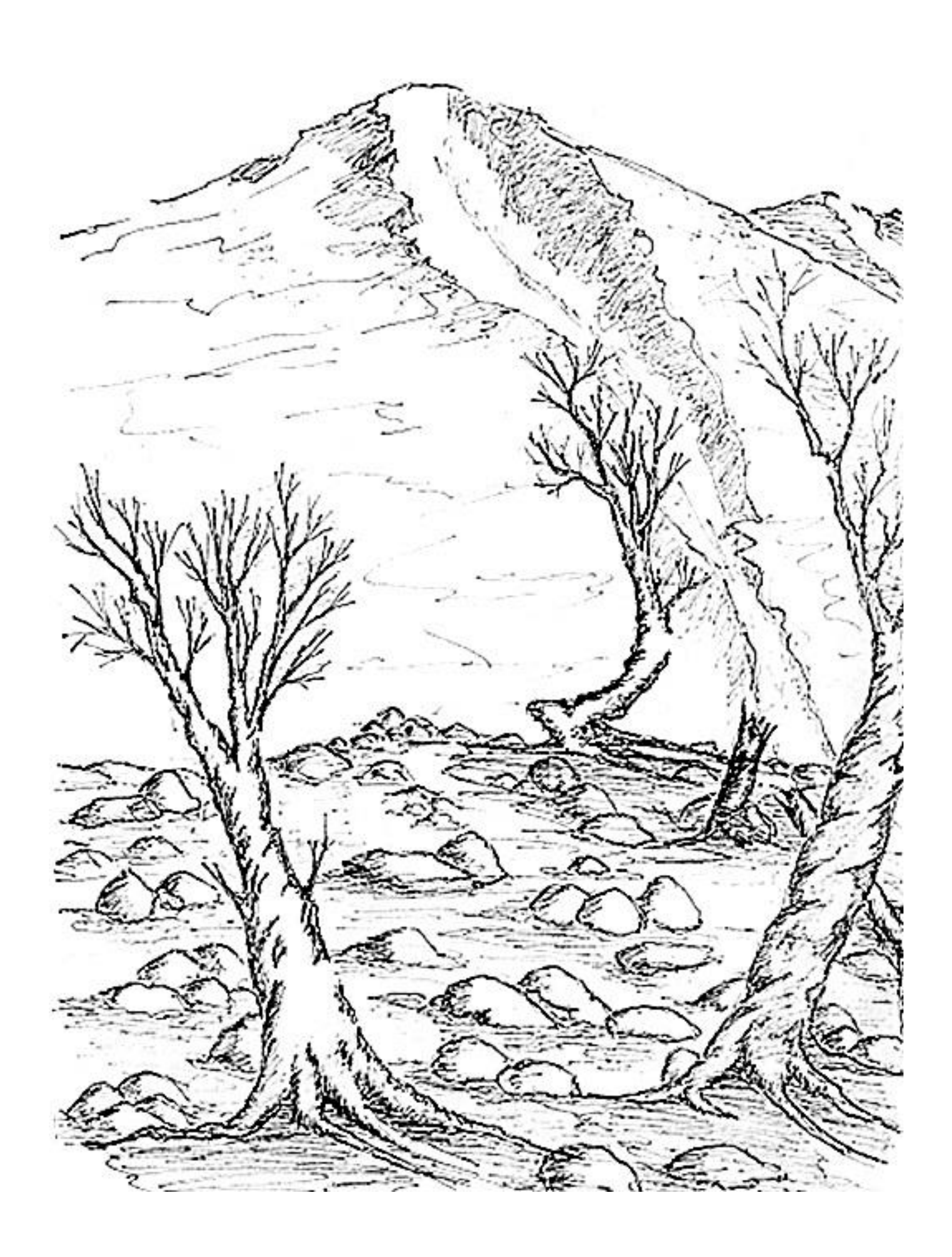
Подписано в печать 23.12.2019. Формат: 60x84/8
Бумага: офсетная. Печать плоская
Усл. печ. л. 19,2. Тираж 50 экз. Заказ № 5243

Тип распространения: бесплатно на сайте журнала www.hydro-sphere.ru

Издатель: ООО НПО «Гидротехпроект»
Санкт-Петербург, 14-я линия В.О. д. 97 пом. 3н
Для почтовых отправлений:
199155 Санкт-Петербург, а/я 136

Редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления»
Тел. +7(812)313-83-48
e-mail: info@hydro-sphere.ru

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в издательстве «Лема»
Санкт-Петербург, 1-я линия В.О., д. 28





© 2019 «Гидросфера. Опасные процессы и явления». Все права защищены.